Tutkimusraportti: Rikalan kanavan avaamisen vaikutus Heinälahden ja Hulaus-, Rikalan- ja Mantereenjärven vedenlaatuun

Janne Juntunen ja Tia Vento

11.2.2021

SYKE

Suomen ympäristökeskus SYKE | Finnish Environment Institute | Finlands miljöcentral

Latokartanonkaari 11
00790 HELSINKI
FINLAND

+358 2952 51000
kirjaamo.syke@ymparisto.fi

www.syke.fi
Y-tunnus 0996189-5

Suomen ympäristökeskus SYKE | Finnish Environment Institute | Finlands miljöcentral
Latokartanonkaari 11
00790 HELSINKI
FINLAND
+358 2952 51000
@ kirjaamo.syke@ymparisto.fi
www.syke.fi
Y-tunnus 0996189-5

1. Johdanto

Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskus) tilasi Suomen ympäristökeskukselta (SYKE) mallilaskelmiin perustuvan arvion Rikalan kanavan lisäveden johtamisen vaikutuksista Hulauden, Mantereenjärven ja Heinälahden kokonaisfosforipitoisuuksiin.

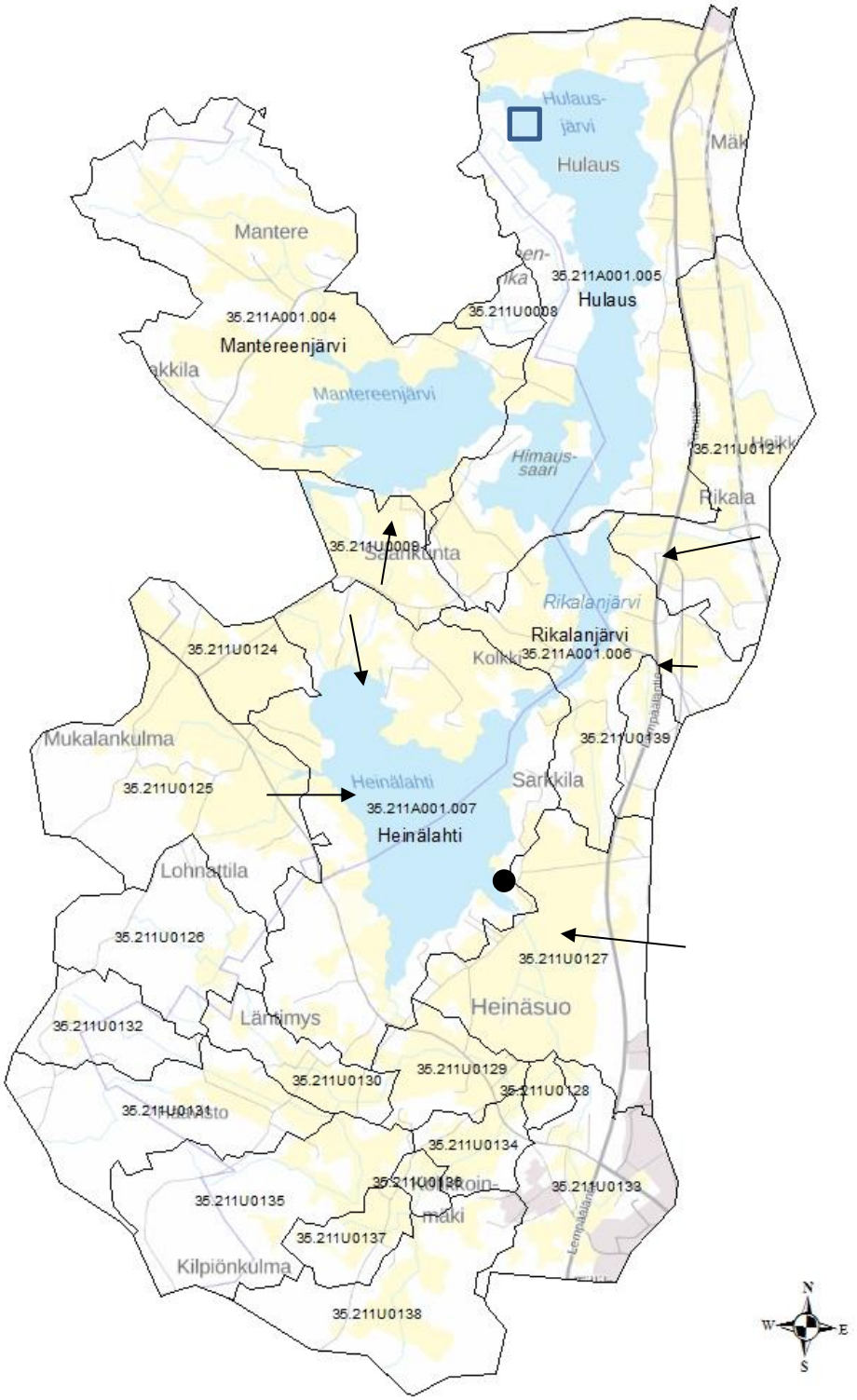
2. Työn toteutus

Hankkeessa sovellettiin kohdealueelle kolmiulotteista Belgiassa kehitettyä avoimen lähdekoodin COHERENS-virtausmallia (Luyten 2013). Mallissa käytettiin neliöhilaa (50m * 50m) ja syvyyssuunnassa vesipatsas oli jaettu 5 kerrokseen. Syvyyssuunnassa mallissa hyödynnettiin niin sanottua säännöllistä sigmakerroskuvailua, jossa kerrospaksuus vaihtelee hilapisteen syvyyden mukaisesti. Kokonaisfosforin kulkeutuminen mallinnettiin hyödyntäen COHERENS-malliin liitettyä sedimenttimoduulia. Virtausmalli ratkaisee numeerisesti veden liikkeitä matemaattisesti kuvailevat Navier-Stokes yhtälöt (vrt. Newtonin lait kiinteille kappaleille) ottaen huomioon vedenliikkeisiin vaikuttavat ulkoiset voimat kuten tuuli ja muut meteorologiset pakotteet ja sisään tulevien jokien virtaamat. Mallin toimintaan vaikuttavien kytkimien ja parametrien arvoina on käytetty muilla järvialueilla hyviksi ja luetettaviksi havaittuja arvoja. Laskennallisen mallinnuksen on havaittu aikaisemmissa mallinnustarkasteluissa tuottavan hyvin virtausnopeudet ja tarkasteltujen aineiden kulkeutumisen. Kiintoaineen laskeutuminen sedimenttiin toteutettiin käyttämällä pientä laskeutumisnopeutta ($1{,}0 \cdot 10^{-8}$ m/s), joten mallinnettava kokonaisfosfori on likipitäen ns. säilyvä suure. Laskeutumisnopeuden arvo säädettiin käytännössä sellaiseksi, että mallin laskemat pitoisuudet ovat tasapainossa pitkällä ajanjaksolla. Varsinaista sedimenttimallia ei käytetty. Lähtöaineistona käytettiin avovesikauden laskelmille vuoden 2015 säätietoja (ilman lämpötila, tuulen suunta ja suuruus, ilmankosteus, pilvisyys, sadanta), jotka saatiin Ilmatieteen laitoksen avoimen rajapinnan kautta. Pohjan topografia saatiin Pirkanmaan ELY-keskukselta, jonka avulla luotiin mallissa käytetty hila (kuva 2).

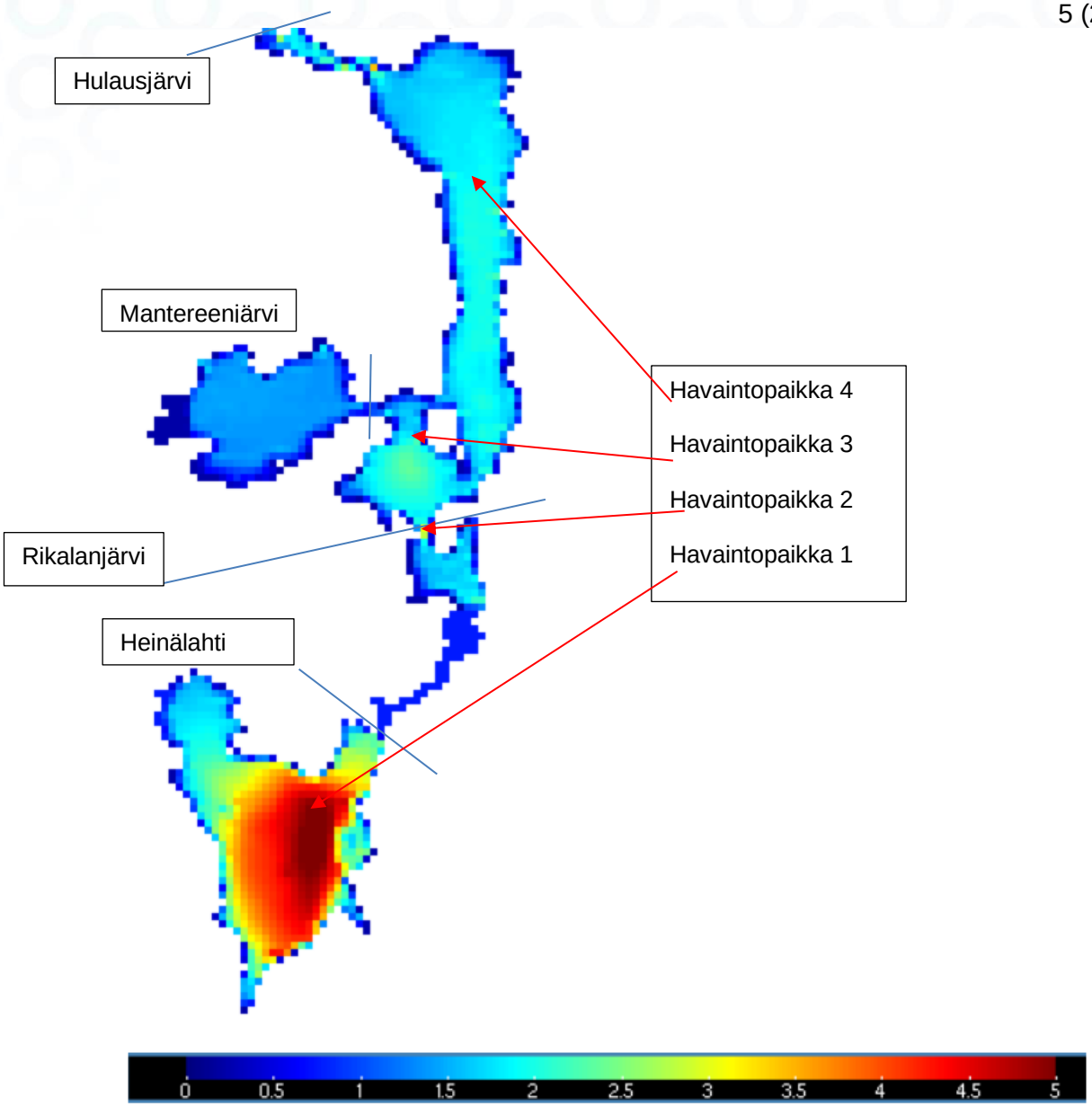
Malliin johdetaan vettä kuudesta sisään tulevasta uomasta ja sitä poistuu yhdestä ulos menevästä pisteestä (Näppilänsalmi) (kuva 1). Sisään tuleville, joille virtaamat ja kokonaisfosforin kuormitus saatiin VEMALA-järjestelmästä. Jokien kautta tulevat virtaamat ja kuormitus sisältävät sekä kauempaa valuma-alueelta tulevan että lähivaluma-alueelta tulevan kuormituksen. Vedenvaihto mallinnusalueen ulkopuolisten vesialueiden kanssa allaskokonaisuuden reunalla (Näppilänsalmi) toteutettiin käyttämällä reunaehtona pinnankorkeutta (kuva 1). Käytetty mittausdata saatiin SYKEN Hertta-järjestelmästä. Heinälahden tapauksessa lähivaluma-alueen kuormitus jaettiin tasan kolmen alueelle laskevan uoman kesken. Rikalanjärveen laskevissa uomissa huomioitiin sen oman lähivaluma-alueen kuormituksen lisäksi myös Hulausjärven lähivaluma-alueen kuormitus. Kummankin lähivaluma-alueen kuormitus jaettiin tasan Rikalanjärveen tuleviin uomiin. Simuloinneissa käytettävät alkuarvot kokonaisfosforipitoisuuksille kussakin altaassa saatiin Pirkanmaan ELY-keskukselta.

Simulaatioilla tarkasteltiin perustilaa (P) ja 4 eri vaihtoehtoa:

- (A1) Johdetun lisäveden virtaama 1,0 m^3/s ja kokonaisfosforipitoisuus 30 µg/l (30 mg/m^3)
- (A2) Johdetun lisäveden virtaama 1,0 m^3/s ja kokonaisfosforipitoisuus 15 µg/l (15 mg/m^3)
- (B1) Johdetun lisäveden virtaama 0,5 m^3/s ja kokonaisfosforipitoisuus 30 µg/l (30 mg/m^3)
- (B2) Johdetun lisäveden virtaama 0,5 m^3/s ja kokonaisfosfori pitoisuus 15 µg/l (15 mg/m^3)

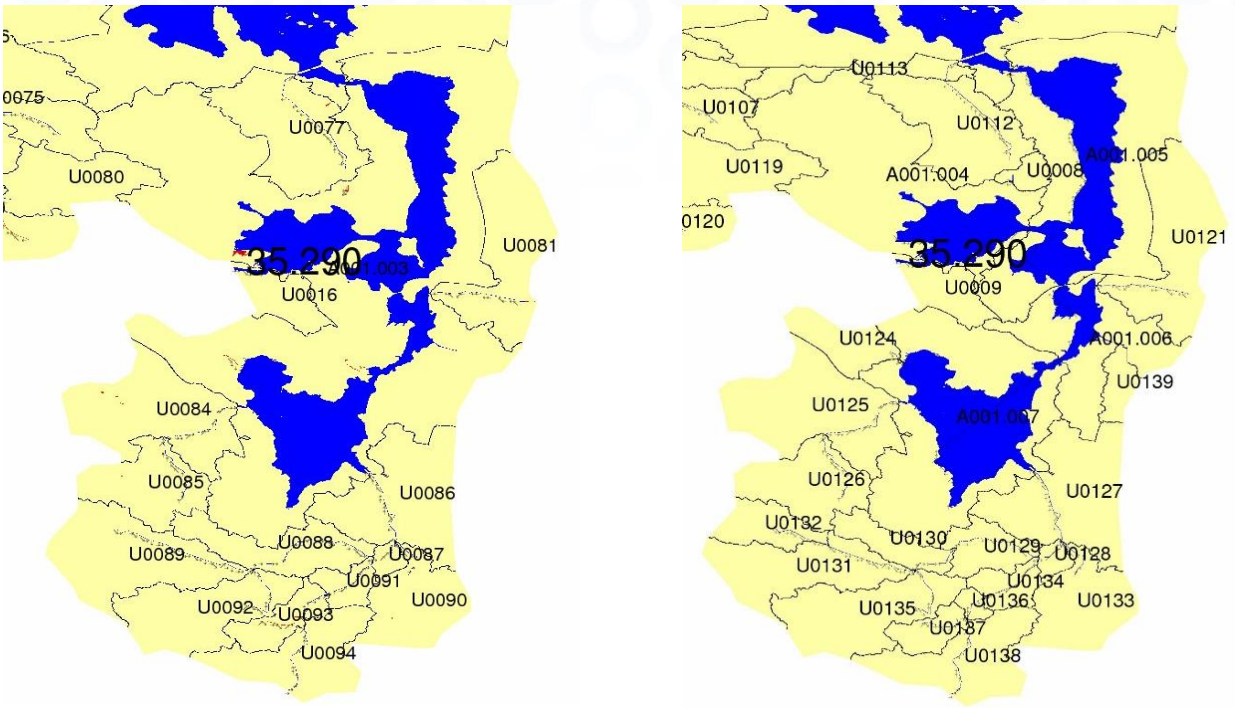


Kuva 1: Mallinnettu järvialue. Mustilla nuolilla on merkitty ne joet, joiden kautta kuormitukset (kuormat sisältävät myös lähivaluma-alueiden kuormat) on asetettu tulevaksi laskennalliseen malliin. Musta neliö kuvan yläreunassa on Näppilänsalmi, jota kautta järvialtaiden vedet poistuvat. Mustalla ympyrällä on merkitty johdettavan lisäveden purkautumispisteen.



Kuva 2: Mallissa käytetty syvyyskartta ja allasjako viipymien laskentaa varten. Punaisilla nuolilla on esitetty havaintopaikat 1-4, joista kokonaisfosforipitoisuus aikasarjat on esitetty.

Työn yhteydessä VEMALA-mallin valuma-aluejakoa tarkennettiin tarvittavien lähtötietojen tuottamiseksi. Aiemmin mallissa yhtenä altaana kuvattu Hulauden allaskokonaisuus jaettiin neljäksi osa-altaaksi: Hulaus, Mantereenjärvi, Heinälahti ja Rikalanjärvi (ks. kuva 3). VEMALAn käyttämät lähtötiedot (esim. maankäyttö ja kuormituslähteet) päivitettiin vastaamaan uutta valuma-aluejakoa. Valuma-aluejaon tarkentamisen myötä saatiin määritettyä fosforin ravinnekuormitus jokaisen osa-altaan lähivaluma-alueelle sekä tarkennettua eri osa-altaisiin yläpuoliselta valuma-alueelta tulevan kuormituksen määrää ja pitoisuutta. Samalla tarkentuivat osa-altaiden tulovirtaamat. Muutokset otettiin osaksi operatiivista VEMALA-laskentaa.



Kuva 3: Vasemmassa kuvassa VEMALAn vanha valuma-aluejako ja oikealla uusi, tarkennettu valuma-aluejako. Osa-altaiden uudet valuma-aluekoodit ovat A001.004 Mantereenjärvi, A001.005 Hulaus, A001.006 Rikalanjärvi ja A001.007 Heinälahti.

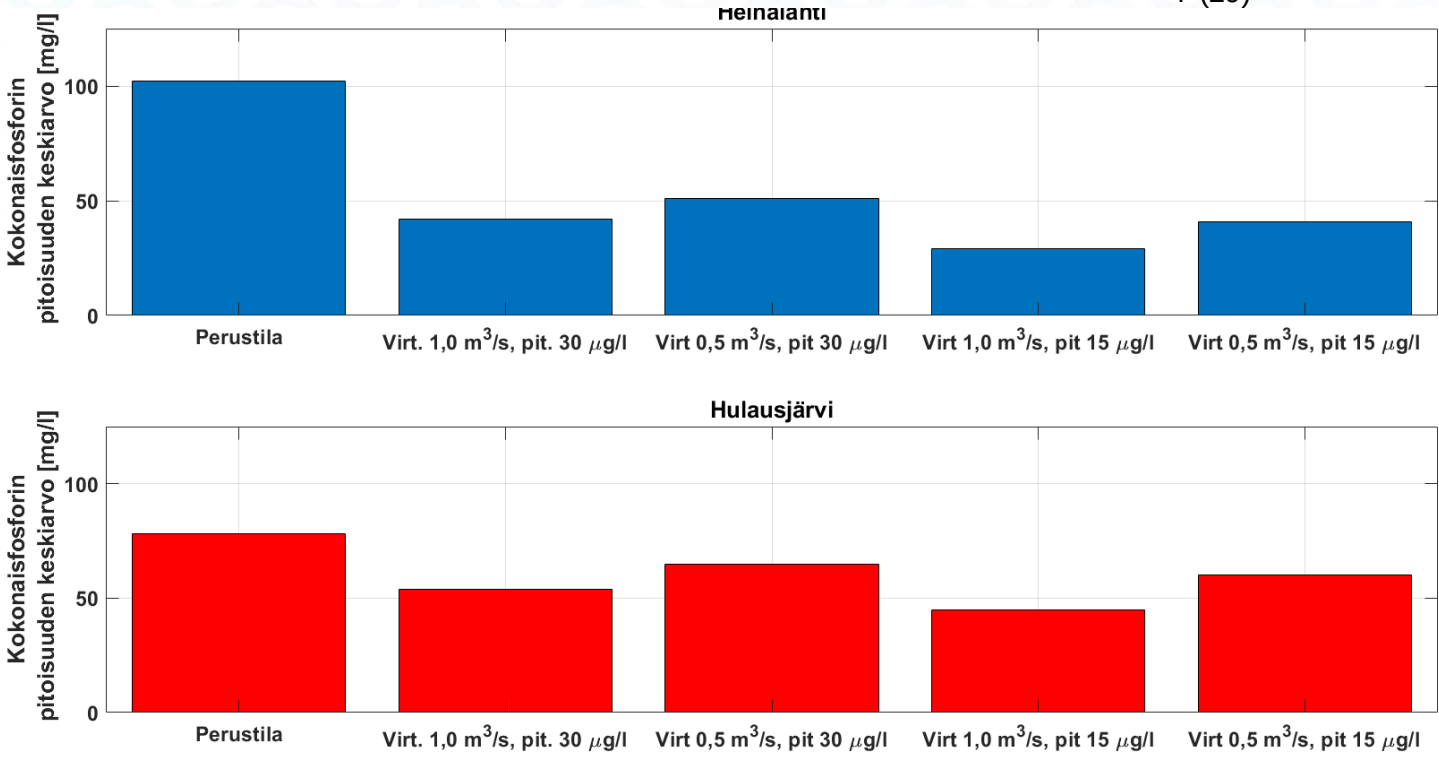
Taulukossa 1 on esitetty VEMALAn laskemat ravinnekuormitusmäärät osa-altailla sekä eroteltu yläpuoliselta valuma-alueelta tuleva kuorma ja lähivaluma-alueella syntyvä kuorma. Arvot ovat summia vuodelle 2015 [kg]. Tuloksista puuttuu osa-altaasta toiseen siirtyvää ravinnekuormaa eli esillä ovat ainoastaan uomia pitkin tulevat kuormat (Heinälahdelle kuvan 3 uomat U0127, U0124 ja U0125; Rikalanjärvelle U0121 ja UO139; Mantereenjärvelle U0009; Hulausjärvelle ei uomia) sekä lähivaluma-alueelta tuleva kuorma.

Taulukko 1: VEMALAn laskema ravinnekuormitus vuodella 2015 osa-altaittain. Huom! Laskelmissa ei ole mukana osa-altaasta toiseen siirtyvää ravinnekuormaa.

Fosforin ravinnekuormitus kg/v	Heinälahti	Rikalanjärvi	Mantereenjärvi	Hulaus
Tuleva kokonaiskuorma	496	118	1337	155
Uomia pitkin tuleva	377	63	1224	0
Lähivaluma-alueella syntyvä kuorma	118	55	113	155

3. Tulokset

Kuvissa 5-12 on esitetty kokonaisfosforin pitoisuus havaintopaikoissa 1-4, joiden sijainnit on esitetty kuvassa 2. Taulukoissa 2-6 on esitetty kuvissa 5, 9, 14 ja 16 esitettyjen simuloidun kokonaisfosforin pitoisuuden tilastollisia tunnuslukuja vuosittaisille jaksoille keskiarvostettuna. Taulukoista 3-6 esitetyistä tunnusluvuista huomataan, että lisäveden johtaminen alkaa vähitellen alentaa allasjärjestelmän pitoisuuksia. Uusi pitoisuuksien tasapainotila saavutetaan yli vuoden kestävällä jaksolla, joten päätöksenteon tukena tulisi tarkastella vuosien 2 ja 3 tuloksia. Vuoden keskimääräiset kokonaisfosforipitoisuudet pienenevät kaikissa tarkastelluissa vaihtoehdoissa jokaisessa havaintopisteissä. Eniten lisäveden johtaminen parantaa Heinälahden kokonaisfosforipitoisuuksia, mutta myös Hulausjärven kokonaisfosforipitoisuudet paranevat (taulukot 2-6, kuva 4).



Kuva 4: Toisen simulointivuoden kokonaisfosforin pitoisuuden vuosikeskiarvo Heinälahdella (havaintopaikka 1) ja Hulausjärvellä (havaintopaikka 4).

Taulukko 2: Simuloitujen kokonaisfosfori aikasarjojen tunnuslukuja perustilassa (Vuosi 1/Vuosi 2/Vuosi 3)

Havaintopaikka	Keskiarvo	Mediaani	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
Heinälahti (1)	**106/102/101**	108/105/104	7/6/6	91/89/87	122/117/113
Köpinsalmi (2)	98/97/96	110/107/106	22/21/21	40/40/40	137/133/127
Sauvonselkä (3)	90/89/89	100/96/96	26/25/25	34/34/34	135/133/133
Hulaus (4)	**78/78/78**	79/84/84	20/20/20	44/44/44	116/115/115

Taulukko 3: Simuloitujen kokonaisfosfori aikasarjojen tunnuslukuja vaihtoehdossa A1 (Vuosi 1/Vuosi 2/Vuosi 3). Havaintopaikan nimen perässä on sulkeissa havaintopaikan numero.

Havaintopaikka	Keskiarvo	Mediaani	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
Heinälahti (1)	**54/42/42**	46/41/41	19/3/3	36/36/36	120/57/54
Köpinsalmi (2)	58/46/46	50/44/44	19/6/6	37/37/37	110/78/73
Sauvonselkä (3)	64/53/53	59/50/50	18/12/12	35/34/34	123/110/110
Hulaus (4)	**64/54/54**	61/53/53	16/10/10	39/37/37	103/84/84

Taulukko 4: Simuloitujen kokonaisfosfori aikasarjojen tunnuslukuja vaihtoehdossa A2 (Vuosi 1/Vuosi 2/Vuosi 3). Havaintopaikan nimen perässä on sulkeissa havaintopaikan numero.

Havaintopaikka	Keskiarvo	Mediaani	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
Heinälahti (1)	**44/29/29**	34/29/29	23/4/4	22/22/22	120/46/43
Köpinsalmi (2)	48/33/33	40/33/33	22/6/6	23/23/23	110/68/63
Sauvonselkä (3)	59/44/44	49/41/41	21/13/13	27/26/26	122/107/107
Hulaus (4)	**57/45/45**	52/44/44	18/9/9	32/31/31	100/78/78

Taulukko 5: Simuloitujen kokonaisfosfori aikasarjojen tunnuslukuja vaihtoehdossa B1 (Vuosi 1/Vuosi 2/Vuosi 3). Havaintopaikan nimen perässä on sulkeissa havaintopaikan numero.

Havaintopaikka	Keskiarvo	Mediaani	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
Heinälahti (1)	**69/51/51**	62/51/50	17/4/4	49/44/44	120/67/63
Köpinsalmi (2)	73/58/58	68/57/57	16/8/8	43/39/39	120/90/84
Sauvonselkä (3)	77/66/65	78/64/64	18/15/15	35/34/34	131/119/118
Hulaus (4)	**76/65/65**	79/66/65	17/13/13	43/40/40	110/87/87

Taulukko 6: Simuloitujen kokonaisfosfori aikasarjojen tunnuslukuja vaihtoehdossa B2 (Vuosi 1/Vuosi 2/Vuosi 3). Havaintopaikan nimen perässä on sulkeissa havaintopaikan numero.

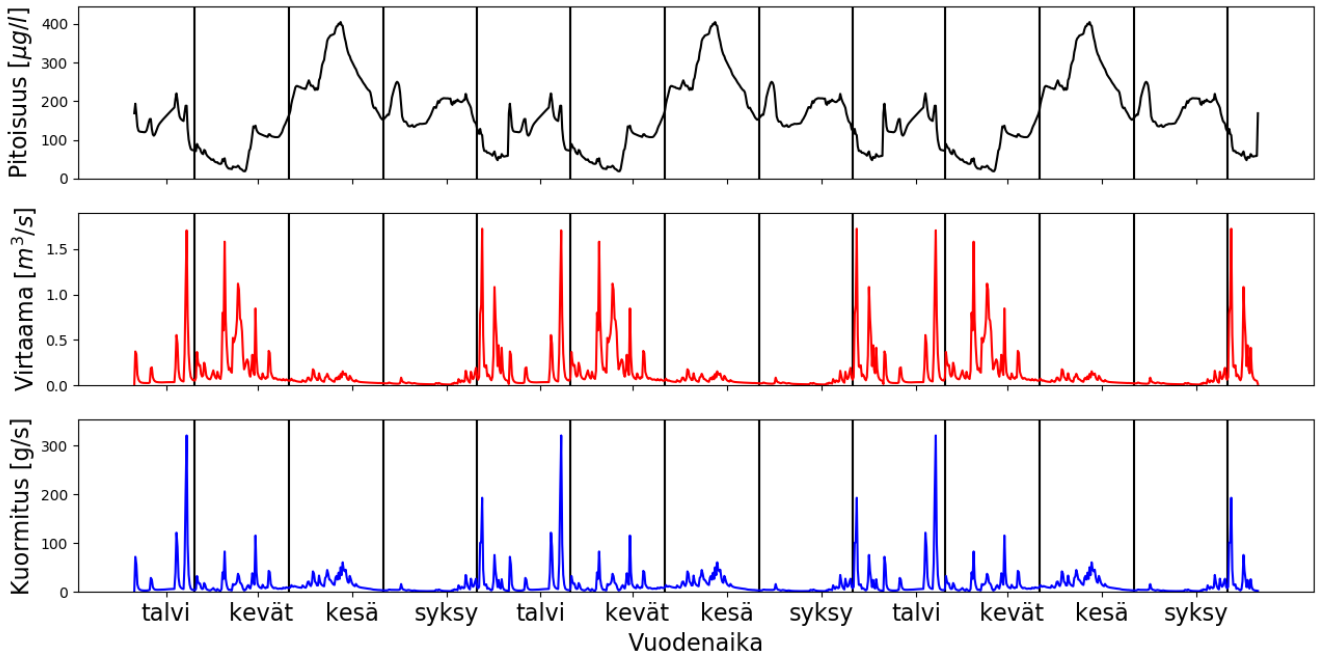
Havaintopaikka	Keskiarvo	Mediaani	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
Heinälahti (1)	**61/41/40**	54/40/39	20/4/4	38/34/33	120/57/53
Köpinsalmi (2)	67/49/48	61/48/47	18/8/7	41/37/37	117/82/77
Sauvonselkä (3)	73/59/59	73/56/56	18/15/15	35/34/34	130/117/116
Hulaus (4)	**73/60/60**	75/60/60	16/12/12	42/39/38	108/82/82

Lisäveden johtaminen vaikuttaa järvien virtauksiin sekä johdettavan veden purkupaikalla Heinälahdella kuin myös ylempänä Rikalanjärvellä ja Hulausjärvellä. Toisin sanoen koko järviketjun dynamiikka muuttuu johdettavan lisäveden seurauksena. Tämä näkyy myös pitkän aikavälin käyttäytymistä kuvaavissa suureissa kuten viipymissä. Taulukossa 7 esitetyt viipymäaikajakaumien (kuvat 7, 13 ja 18) keskiarvo ja moodi ovat kuvaus siitä, kuinka kauan kestää tarkastelupisteen alapuolisen vesistöosuuden tyhjeneminen vedestä. Viipymäaikojen laskennassa käytetty allasjako on esitetty kuvassa 2. Koska laskenta on tehty vuorokausikeskiarvoilla huomioimatta mahdollisia takaisinvirtauksia, voivat arviot poiketa muilla menetelmillä lasketuista viipymistä.

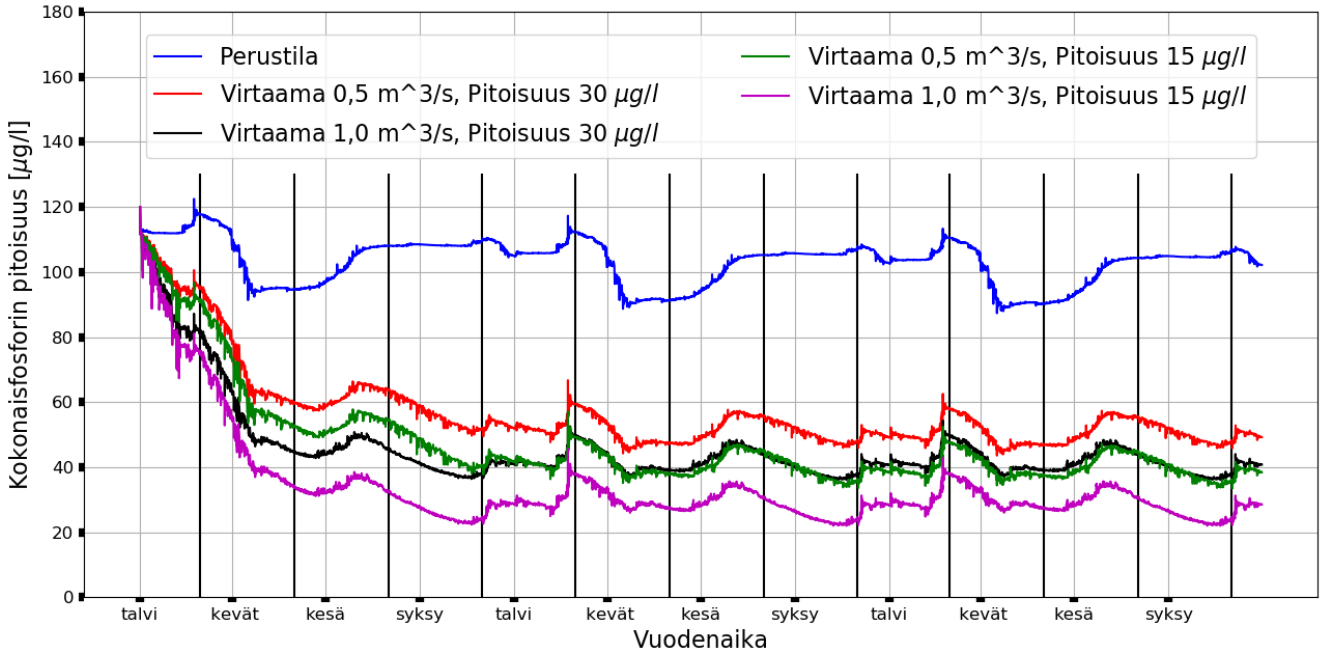
Taulukko 7: Viipymäjakauman keskiarvo ja moodi ja prosentuaalinen suhde perustilan viipymään. Tunnuslukujen yksikkö on vuorokausi (vrk).

Allas	Perustila		Lisävirtaama 0,5 m^3/s		Lisävirtaama 1,0 m^3/s	
	keskiarvo	moodi	keskiarvo	moodi	keskiarvo	moodi
Heinälahti	138	98	96 (70%)	63 (64%)	55 (40%)	41 (41%)
Rikala	56	25	38 (68%)	18 (72%)	24 (42%)	12 (48%)
Mantere	21,5	8,0	21,6 (100,5 %)	8,0 (100%)	21,1 (98%)	8,0 (100%)
Hulaus	73	45	67 (92%)	39 (87%)	57 (78%)	34 (76%)

3.1 Heinälahti

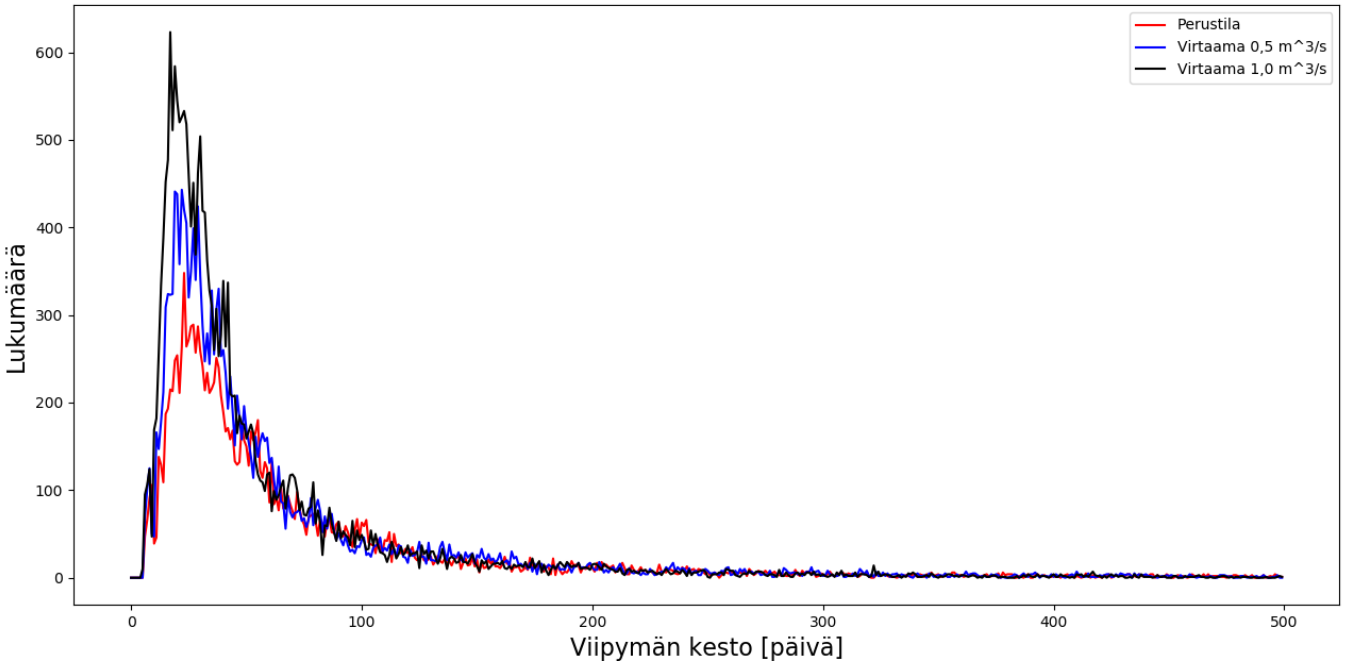


Kuva 5: Heinälahteen tulevan kokonaiskuormituksen laskennallinen pitoisuus, virtaama ja kuormitus.



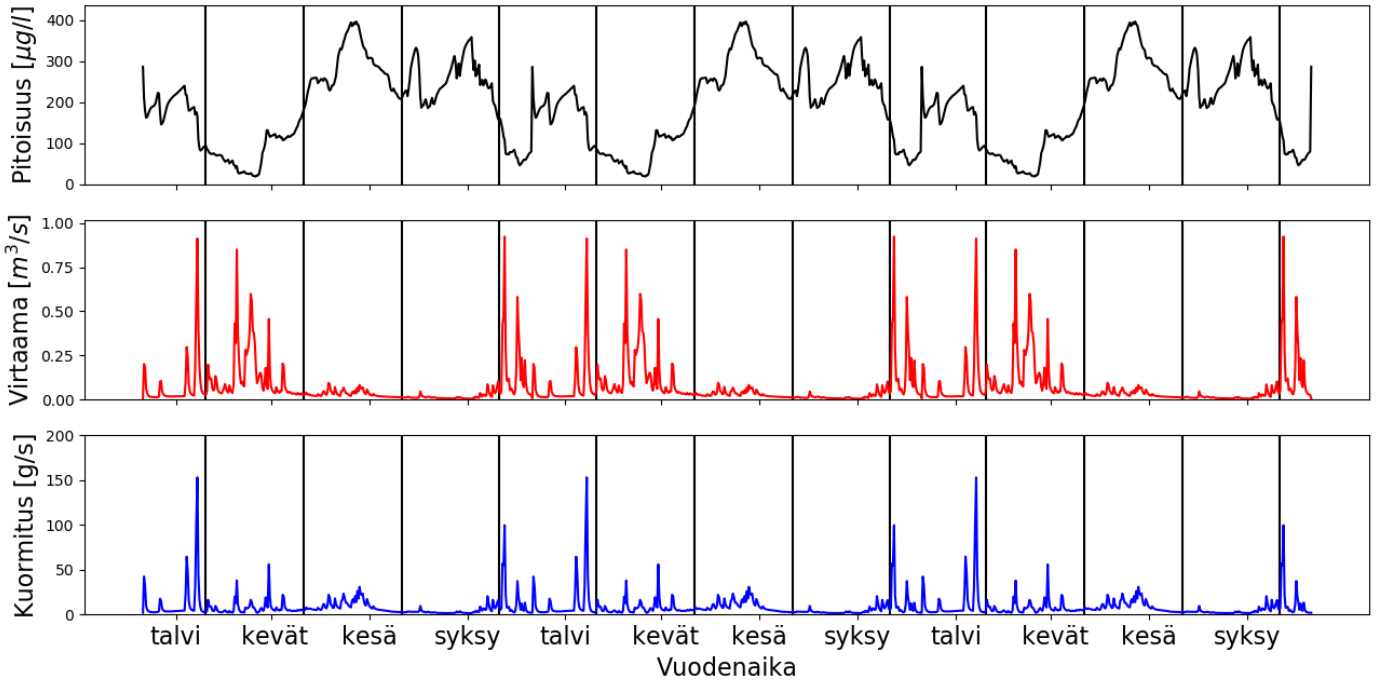
Kuva 6: Kokonaisfosforin pitoisuus Heinälahden havaintopaikassa (Havainto paikka 1). Simulaation ajanjakso on 01.01.2015-31.12.2017.

Heinälahdella (havaintopaikka 1), joka sijaitsee lähimpänä johdettavan lisäveden purkupaikkaa, vesi laimenee nopeasti alle perustilan kokonaisfosforipitoisuuden (kuva 6). Heinälahden kuormituksessa (kuva 5) olevat selkeät piikit näkyvät myös havaintopisteen 1 pitoisuuksien nousuna samoilla ajanhetkillä. Johdettava lisävesi lyhentää Heinälahden vedenvaihtumiseen kuluvaa aikaa eli viipymää selkeästi (kuva 7, taulukko 7). Viipymän lyheneminen näkyy jakaumissa erityisesti jakaumien huipun nousemisena ja vähäisenä siirtymisenä vasemmalle johdettavan lisäveden virtaaman kasvaessa.



Kuva 7: Heinälahden viipymäaikajakauma laskettuna hetkellisten lähtövirtaamien avulla kaikille tarkastelluille vaihtoehdoille. Jakauma kuvaa sitä, kuinka kauan tarkastelupisteen alapuolisen vesistön osan tyhjenemiseen menisi hetkellisillä virtaamilla tarkastelupisteessä. Y-akseli kuvaa niiden laskettujen virtaamien lukumäärää, joilla viipymä vastaa x-akselilla ilmoitettua ajanjaksoa päivissä. Jakaumien huipun kasvaminen ja sijainnin siirtyminen vasemmalle tarkoittaa viipymän pienenemistä.

3.2 Rikalanjärvi



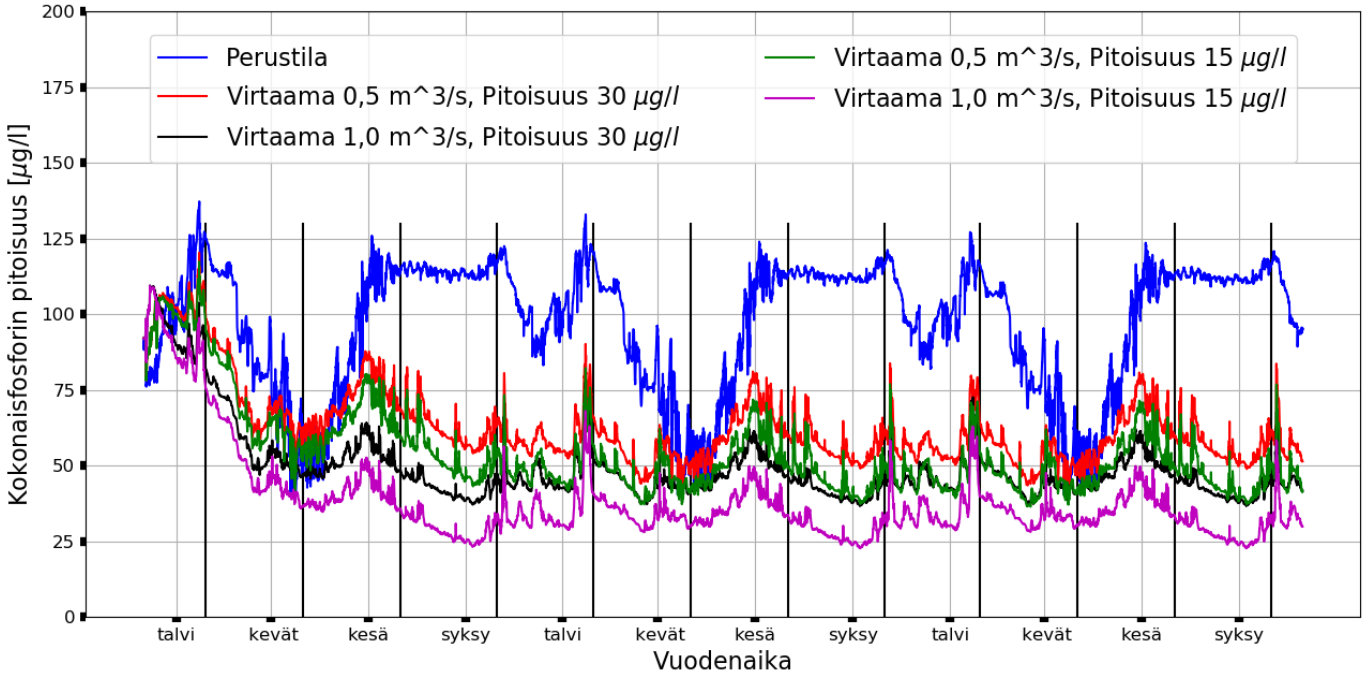
Kuva 8: Rikalanjärveen tulevan kokonaiskuormituksen laskennallinen pitoisuus, virtaama ja kuormitus. Hulausjärven lähivaluma-alueen kuormitus on mallissa yhdistetty Rikalanjärveen tuleviin uomiin.

Rikalanjärveen tulevan virtaaman huippuarvot ovat noin puolet Heinälahden vastaavista (kuvat 8 ja 5). Tämä selittää myös sen miksi kokonaiskuormitushuiput ovat noin puolet Heinälahden kuormituksesta. Kuormituksen ajoitus on samanlainen kuin Heinälahdella.

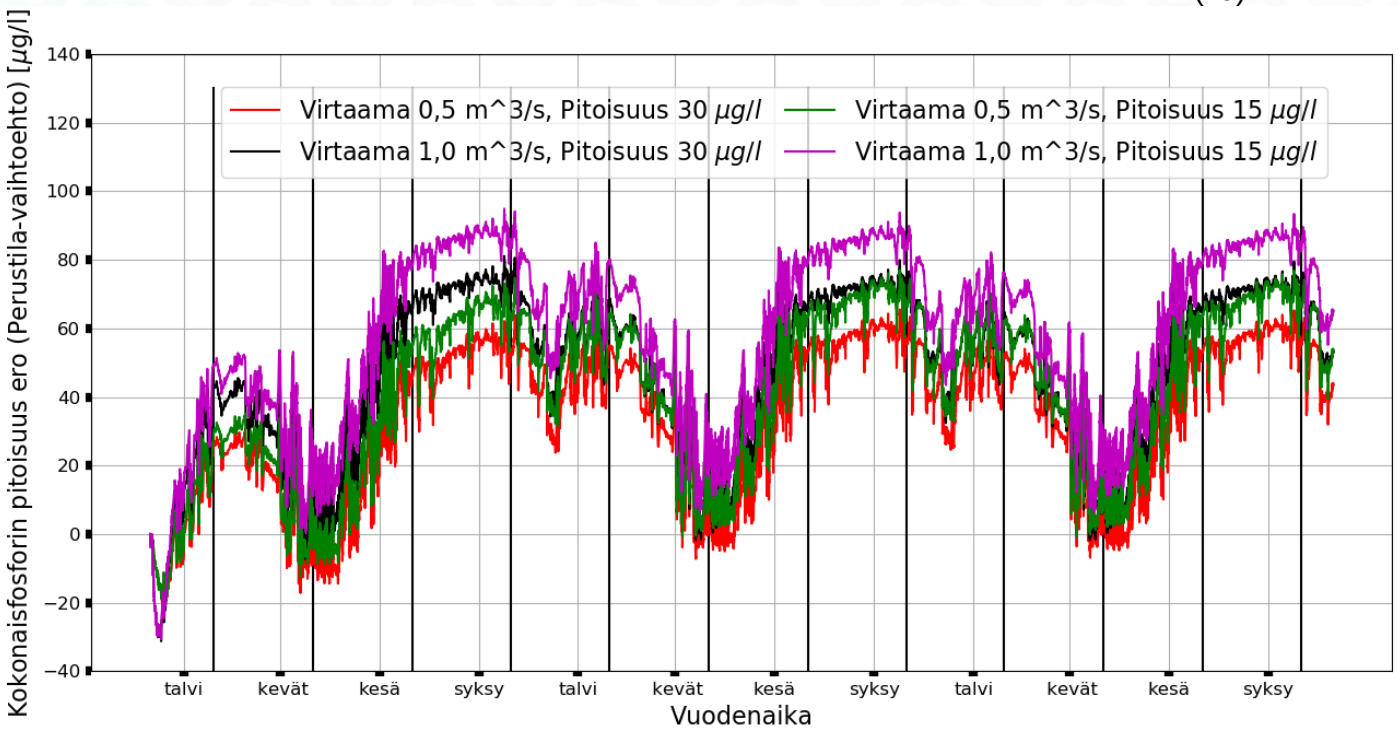
Havaintopaikassa 2 eli Köpinsalmessa kokonaisfosforipitoisuus heilahtelee paljon perustilassa (kuva 9) ollen pienemmillään touko-kesäkuussa. Kokonaisfosforipitoisuuksien ajallisesti nopea heilahtelu, joka on näkyvissä kaikissa tarkastelluissa vaihtoehdoissa, johtuu siitä, että Köpinsalmessa virtauksia tapahtuu molempiin suuntiin (kuva 11). Tällöin perustilassa Sauvonselän hieman laimeampaa vettä pääsee Rikalanjärvelle ja pienentää sen pitoisuuksia. Myös muissa tarkastelluissa vaihtoehdoissa takaisinvirtausta tapahtuu, mutta vähäisemissä määrin (kuva 11), sillä lisäveden johtaminen Heinälahteen nostaa Köpinsalmen syvyyssuunnassa keskiarvostettuja virtausnopeuksia keskimäärin 0,36 cm/s ja 0,71 cm/s (kuva 12). Vaihtoehdoissa A ja B kokonaisfosforin pitoisuudet havaintopaikkojen 2 ja 3 välillä ovat suuremmat kuin perustilassa (kuvat 19-23), minkä seurauksena kokonaisfosforipitoisuuden lyhytkestoinen heilahtelu on voimakkaampaa kuin perustilassa.

Kokonaisfosforin pitoisuudet eivät missään vaihtoehdoissa (A1, A2, B1 ja B2) ylitä perustilan (P) pitoisuuksia pitkäkestoisesti (kuvat 9 ja 10). Joillakin ajanhetkillä kokonaisfosforin pitoisuustasot heilahtelevat toistensa ympärillä (kuva 10). Tällaisia ajanhetkiä ovat touko-kesäkuu jokaisena mallinnettuna vuotena. Tämä on todennäköisesti seurausta järviketjun muuttuneesta dynamiikasta.

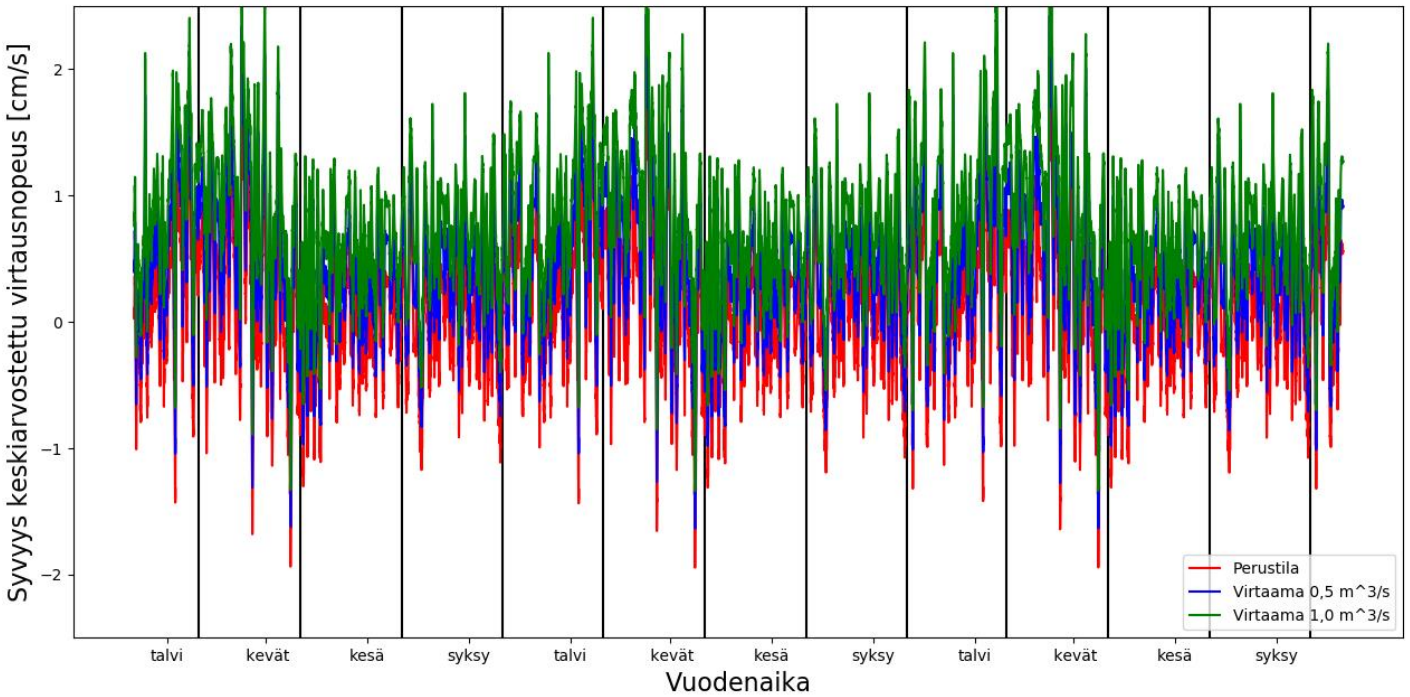
Kaiken kaikkiaan Rikalanjärven veden vaihtuminen on nopeaa kaikissa tarkastelluissa vaihtoehdoissa ja lisäveden pumppaaminen nopeuttaa sitä edelleen (kuva 13).



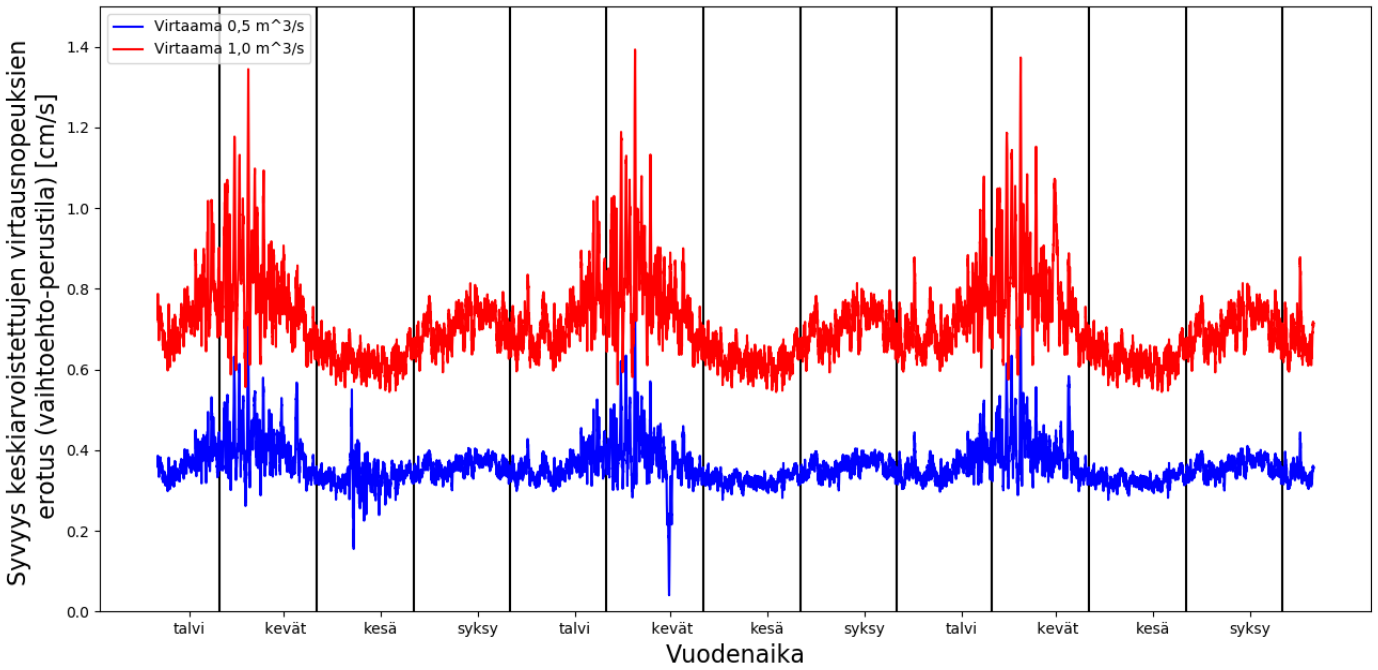
Kuva 9: Kokonaisfosforin pitoisuus Köpinsalmessa (havaintopaikka 2). Simulaation ajanjakso on 1.1.2015-1.1.2016.



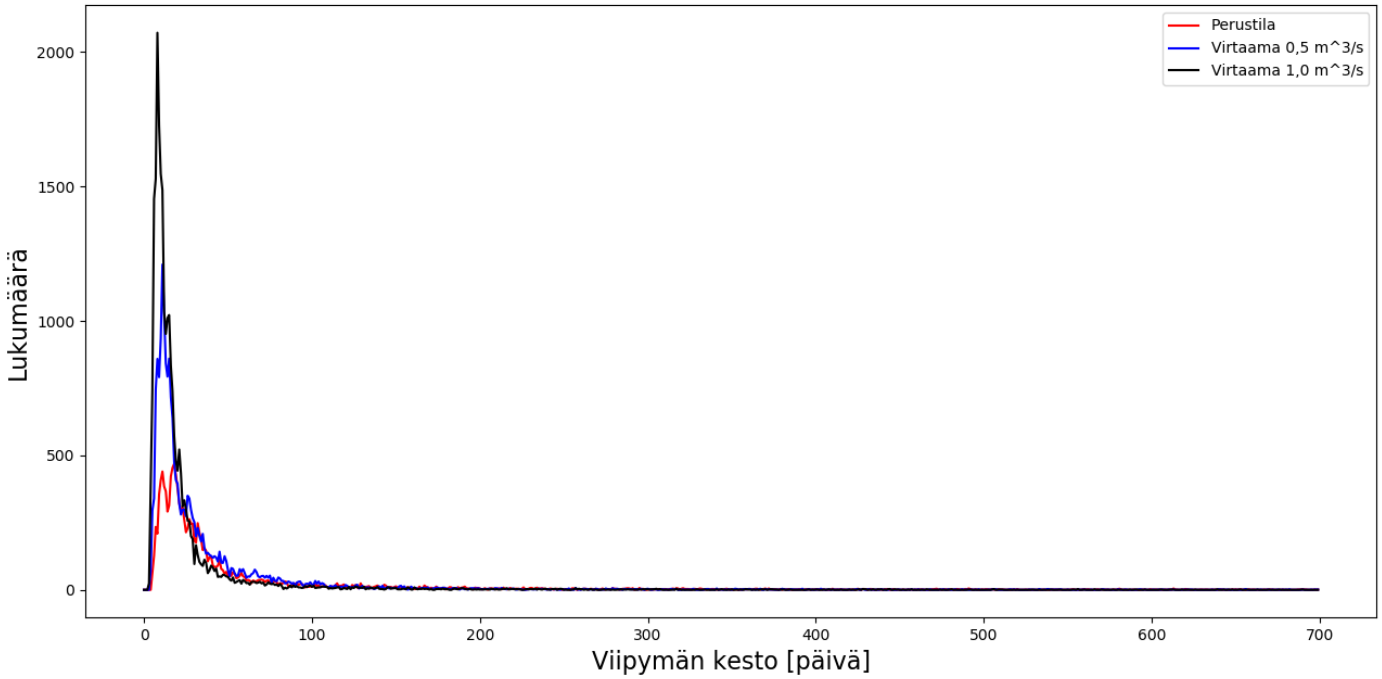
Kuva 10: Mallinnettujen kokonaisfosforipitoisuuksien ero havaintopaikassa Köpinsalmessa (havainto paikka 2). Simulaation ajanjakso on 1.1.2015-31.12.2016. Pystyviivat kuvastavat kuukauden vaihtumista.



Kuva 11: Keskimääräiset virtausnopeudet Köpinsalmessa (havaintopaikka 2).



Kuva 12: Virtausnopeuksien ero perustilaan Köpinsalmessa (havaintopaikka 2). Lisäveden johtaminen 0,5 m^3/s nostaa virtausnopeuksia noin 0,3-0,5 cm/s ja lisävesi virtaamalla 1,0 m^3/s nostaa virtausnopeuksia noin 0,6-1,0 cm/s.

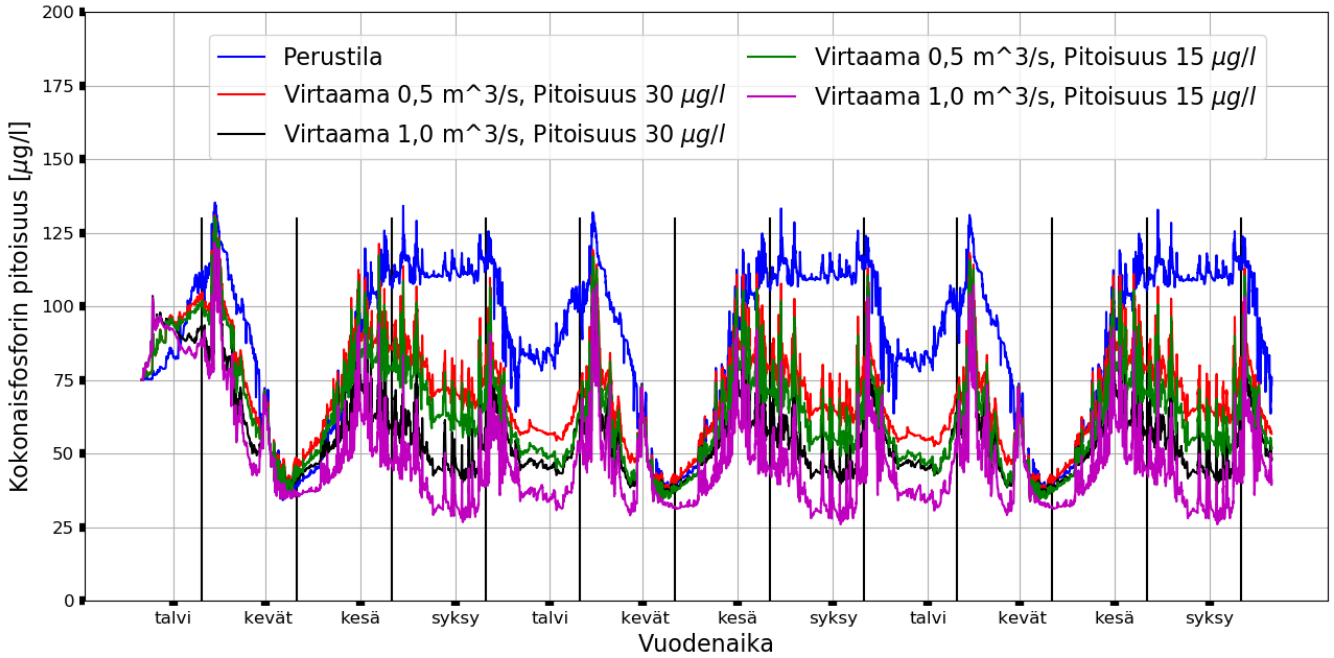


Kuva 13: Hetkellisten virtausnopeuksien avulla laskettu viipymä jakauma Köpinsalmessa (havaintopaikka 2). Tulos kuvaa vain Rikalanjärven (ei koko alapuolisen vesistön) viipymää. Jakauma kuvaa sitä, kuinka kauan tarkastelu pisteen alapuolisen vesistön osan tyhjenemiseen menisi hetkellisillä virtaamilla tarkastelu pisteessä. Y-akseli kuvaa niiden laskettujen virtaamien lukumäärää, joilla viipymä vastaa x-akselilla ilmoitettua ajanjaksoa päivissä. Jakaumien huipun kasvaminen ja sijainnin siirtyminen vasemmalle tarkoittaa viipymän pienenemistä.

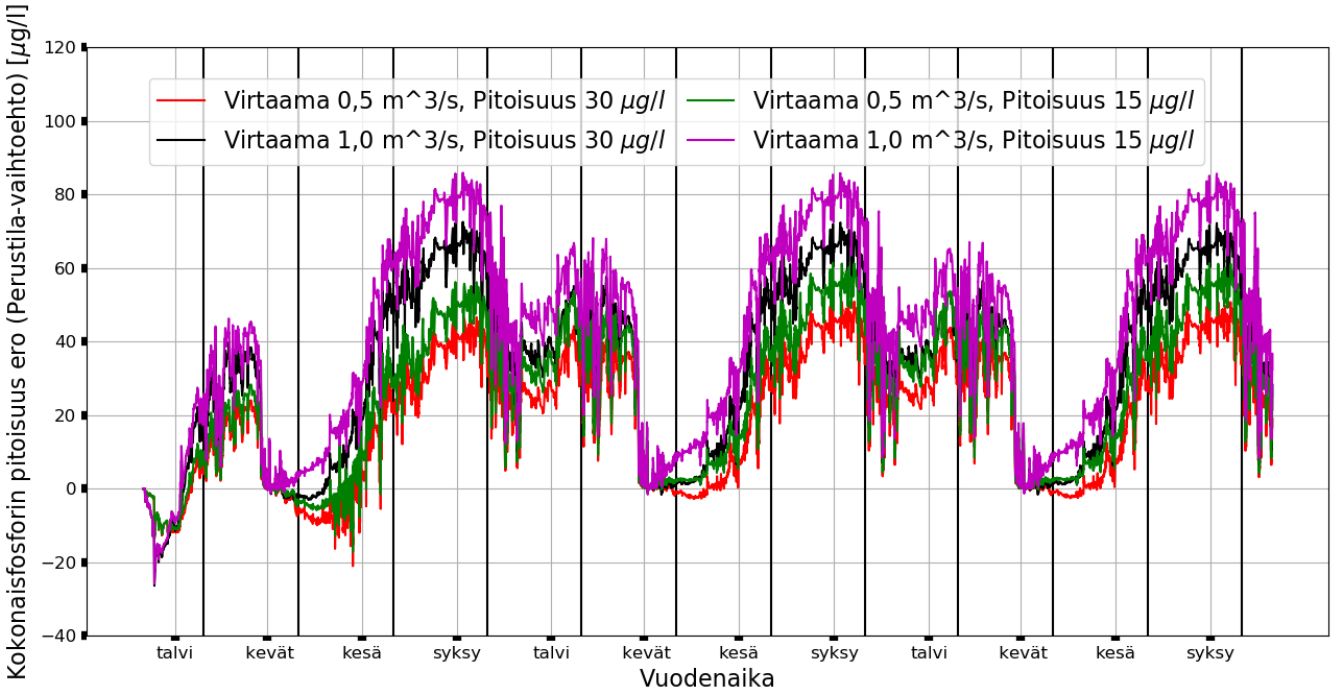
3.3 Hulausjärvi

Hulausjärvellä on kaksi havaintopaikkaa 3 ja 4. Havaintopaikoista 3 on etelämpänä Himaus -ja Köpinsaaren välissä ja kuvastaa erityisesti Sauvonselkää ja havaintopaikka 4 pohjoisempana (kuva 2). Havaintopaikka 3 on eräänlainen risteysasema, jossa kohtaavat ajoittain Mantereenjärveltä ja Rikalanjärveltä tulevat vedet. Tämä selittää myös

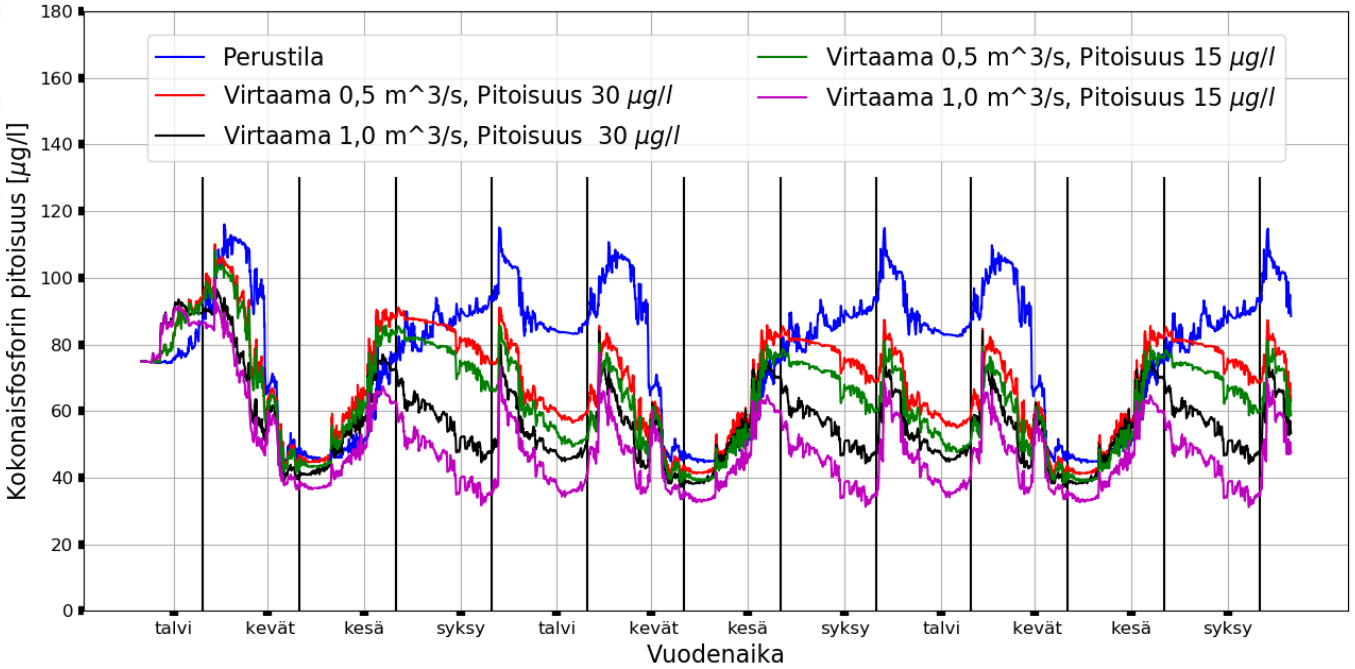
kuvassa 14 näkyvän suurehkon kokonaisfosforin pitoisuuden heilahtelut. Heilahtelu on suurinta perustilassa, mutta näkyvissä myös muissa tarkastelluissa vaihtoehdoissa erityisesti kuormituspiikkien aikoihin (kuva 14). Lisäveden johtaminen nostaa kokonaisfosforin pitoisuudet vaihtoehdoissa A ja B perustilan yläpuolelle aivan simulaation alussa tammi-helmikuussa (kuva 15). Johdettaessa lisävettä 0,5 m^3/s ylittyvät perustilan pitoisuudet ensimmäisen vuoden kesä-heinäkuussa. Myöhäisimpinä vuosina pitoisuudet ovat kesä-heinäkuussa oleellisesti samansuuruisia kuin perustilassa (kuvat 14 ja 15). Kuvasta 15 tosin nähdään, että pitoisuudet ovat tällöinkin hivenen suurempia kuin perustilassa kun johdettavan lisäveden (0,5 m^3/s) pitoisuus on 30 µg/l.



Kuva 14: Kokonaisfosforipitoisuus Sauvonselällä (havaintopaikka 3). Simulaation ajanjakso on 1.1.2015-31.12.2017.

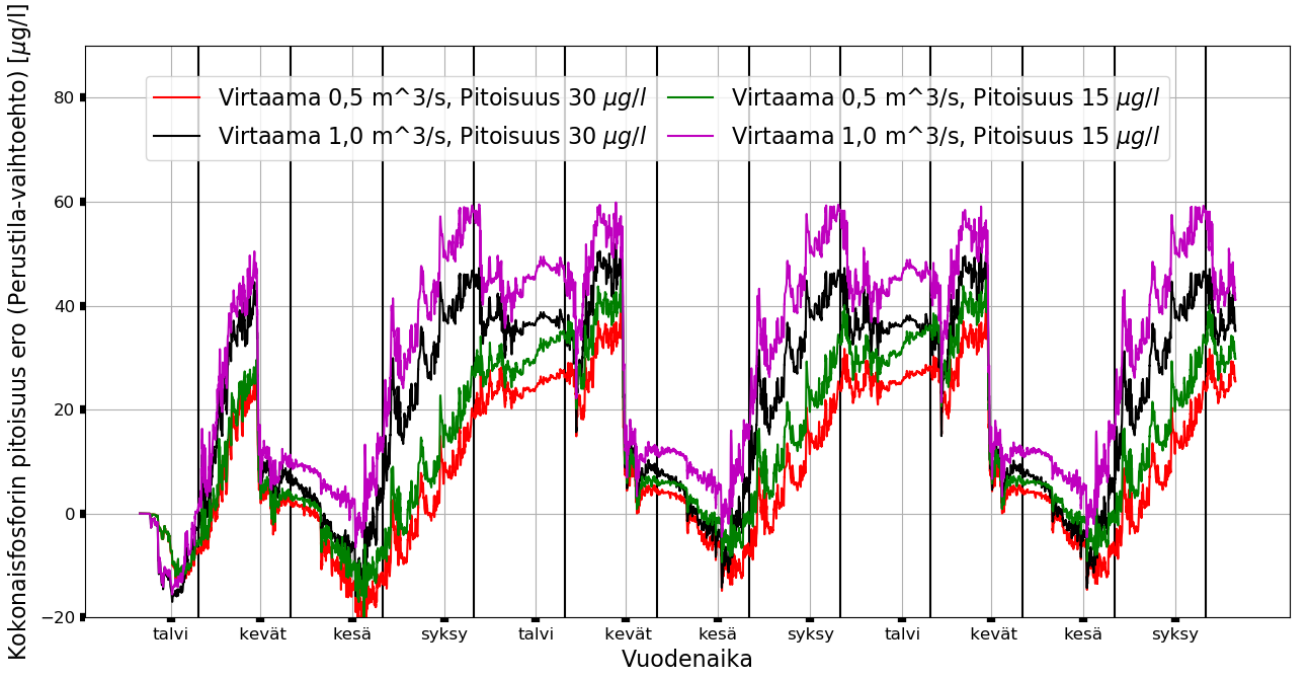


Kuva 15: Mallinnettujen kokonaisfosforipitoisuuksien ero Sauvonselällä (havaintopaikka 3). Simulaation ajanjakso on 1.1.2015-31.12.2017. Pystyviivat kuvastavat kuukauden vaihtumista.

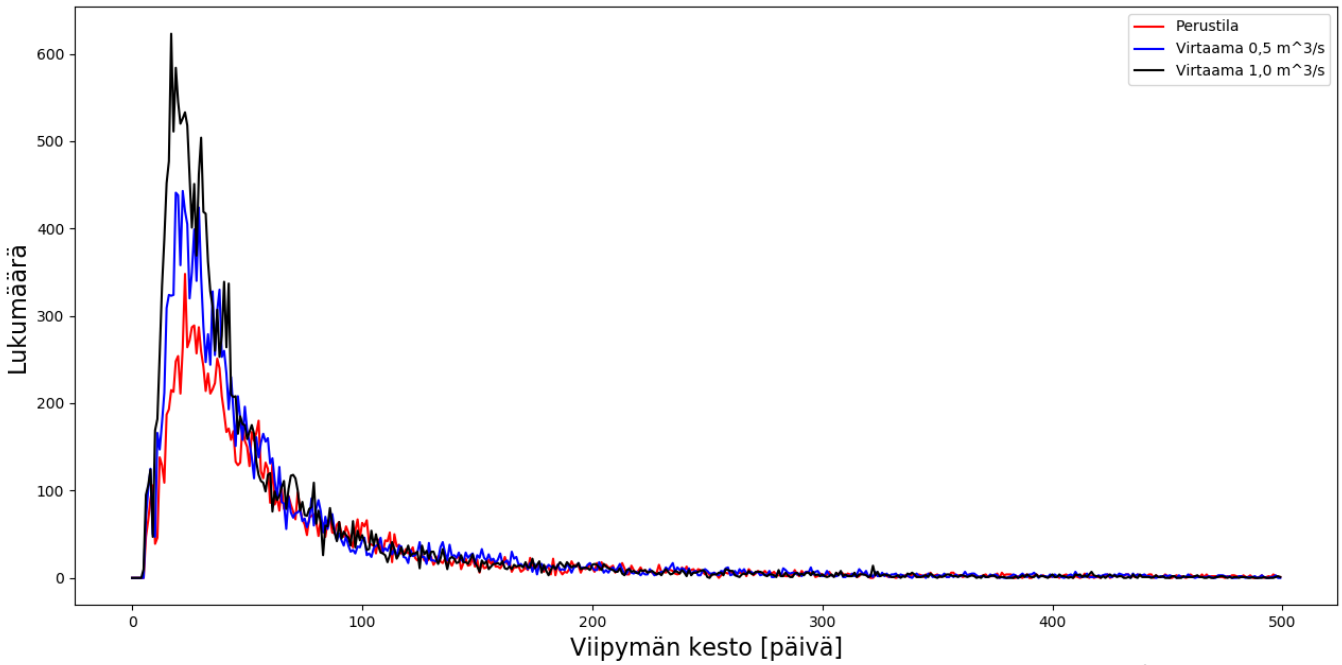


Kuva 16: Kokonaisfosforipitoisuus Hulausjärvessä (havaintopaikka 4). Simulaation ajanjakso on 1.1.2015-31.12.2017

Hulausjärvellä (havaintopaikka 4) kokonaisfosforipitoisuudet ovat selkeästi suuremmat perustilassa syksyn puolivälistä aina kesän alkupuoliskolle kaikissa tarkastelluissa vaihtoehdoissa. Loppukesästä on ajanjakso, jolloin kokonaisfosforin pitoisuudet ovat hyvin lähellä toisiaan eri vaihtoehdoissa. Tällöin vain vaihtoehdossa A2 (lisävedenvirtaama 1,0 m^3/s, pitoisuus 15 µg/l) kokonaisfosforin pitoisuus ei käy edes hetkellisesti perustilan kokonaisfosfori pitoisuutta korkeammalla (kuva 17). Vaihtoehdossa B1 (virtaama 0,5 m^3/s, pitoisuus 30 µg/l) ajanjakson pituus, jolloin perustilan kokonaisfosfori pitoisuus on pisimmillään (noin 90 vuorokautta), pitoisuuden puolittaminen (vaihtoehto B2) lyhentää ajanjakson pituutta noin 30 vuorokaudella. Tämän ajanjakson pituus vaihtoehdossa A1 on hieman pienempi kuin vaihtoehdossa B2.



Kuva 17: Mallinnettujen kokonaisfosforipitoisuuksien ero Hulausjärvessä (havaintopaikka 4). Simulaation ajanjakso on 1.1.2015-31.12.2017

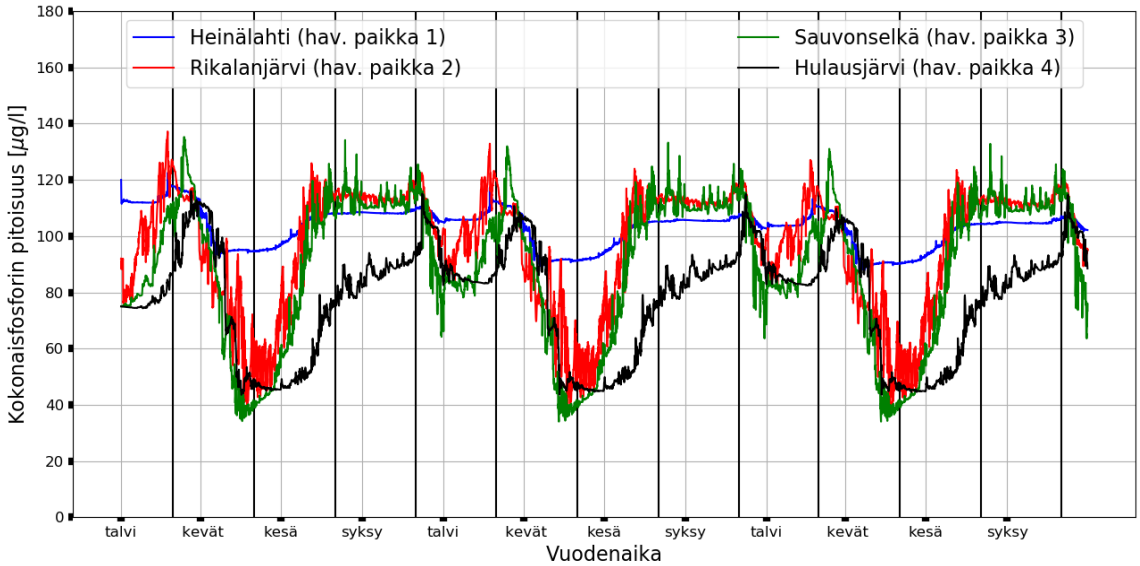


Kuva 18: Hulausjärven viipymät perustilassa (punainen) ja johdettavan lisäveden virtaamilla 0,5 m^3/s (sininen) ja 1,0 m^3/s (musta). Jakauma kuvaa sitä, kuinka kauan tarkastelupisteen alapuolisen vesistön osan tyhjenemiseen menisi hetkellisillä virtaamilla tarkastelupisteessä. Y-akseli kuvaa niiden laskettujen virtaamien lukumäärää, joilla viipymä vastaa x-akselilla ilmoitettua ajanjaksoa päivissä. Jakaumien huipun kasvaminen ja sijainnin siirtyminen vasemmalle tarkoittaa viipymän pienenemistä.

Kokonaisfosforipitoisuudet eri järvissä eri vaihtoehdoissa

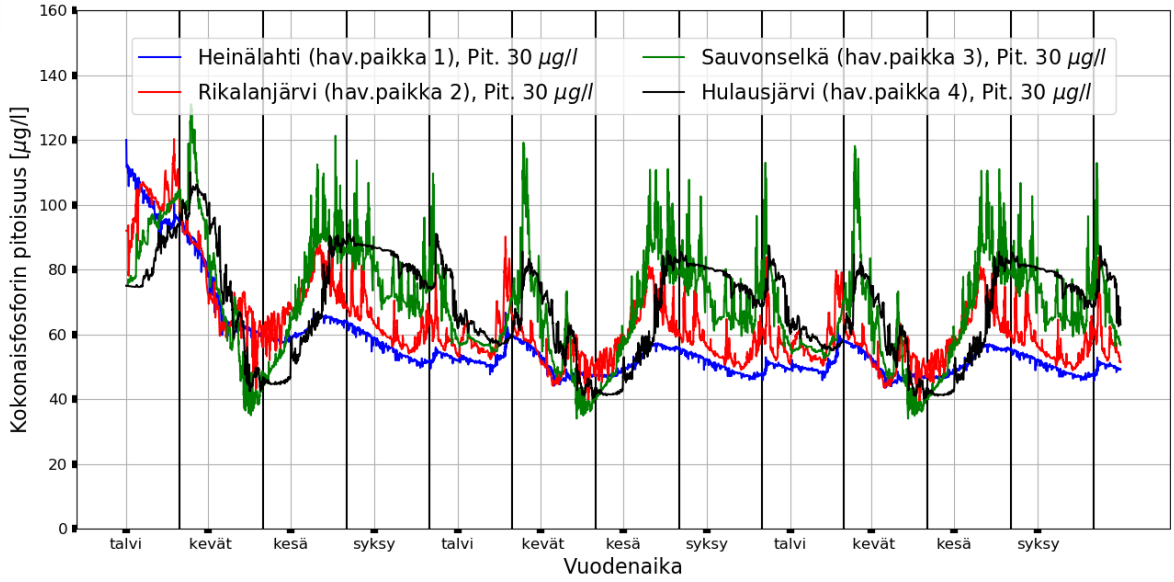
Lisäveden johtaminen aiheuttaa sen, että kokonaisfosforin pitoisuudet ovat eri tarkastelupisteissä keskimäärin lähempänä toisiaan kuin perustilassa (kuvat 19-23). Tämä johtuu siitä, että lisäveden pumppaaminen Heinälahteen nopeuttaa sen vedenvaihtoa.

Pääpiirteittäin kokonaisfosforipitoisuudet laskevat perustilassa virtaussuunnassa alaspäin mentäessä eli mitä pohjoisempana havaintopaikka sijaitsee. Poikkeuksena ovat havaintopaikat Köpinsalmessa (havaintopaikka 2) ja Sauvonselällä (havaintopaikka 3), jotka sijaitsevat niin lähellä tosiaan, että selkeätä eroa havaintopaikkojen välillä ei ole. Perustilassa hulausjärven havaintopaikassa (havaintopaikka 4) kokonaisfosforin pitoisuudet ovat suurimman osan ajasta muita havaintopaikkoja selkeästi pienempiä (kuva 19).

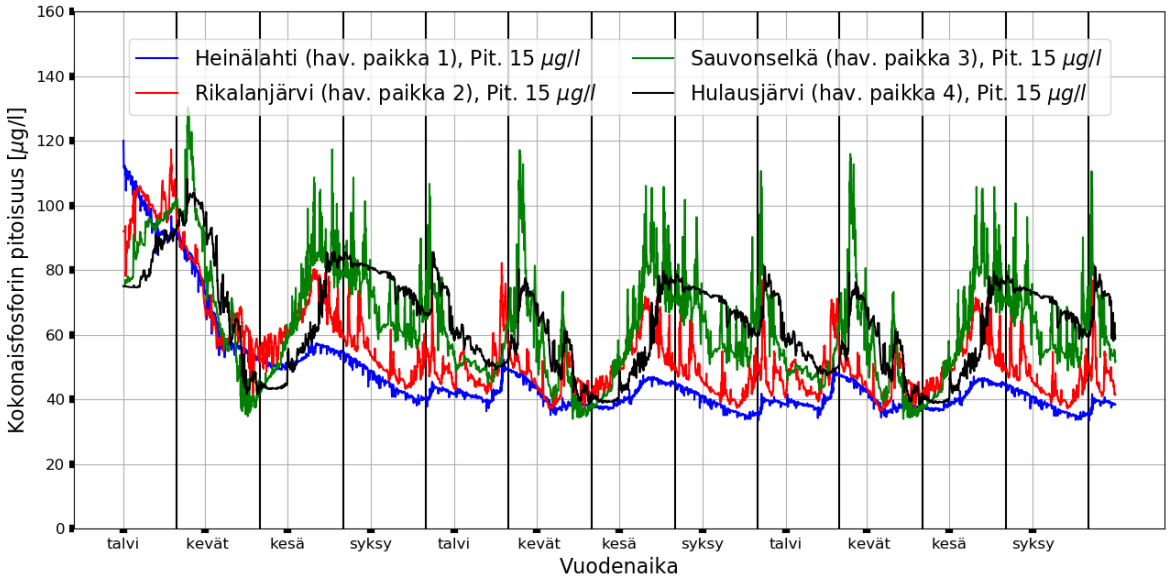


Kuva 19: Kokonaisfosforin pitoisuus Heinälahden, Rikalanjärven, Sauvonselän ja Hulausjärven havaintopaikoissa (havaintopaikat 1-4) perustilassa.

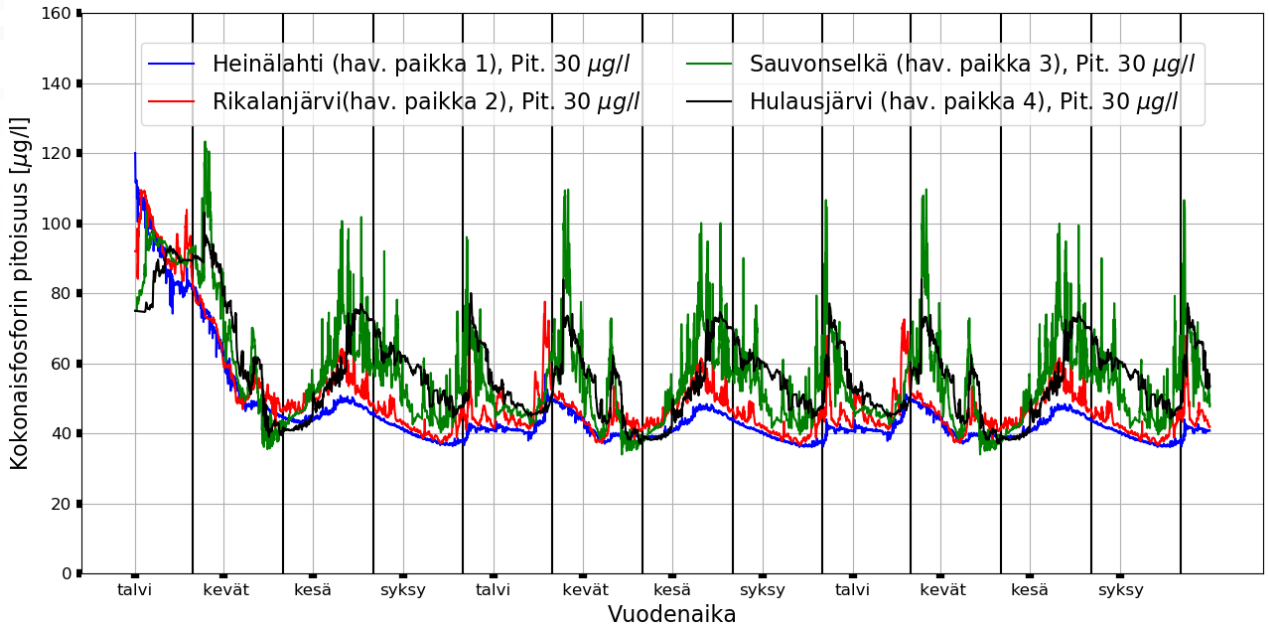
Samanlaista trendiä kuin perustilassa ei ole havaittavissa johdettaessa lisävettä Heinälahteen (kuvat 19-23). Päinvastoin, lisäveden johtaminen aiheuttaa sen, että pitoisuudet kasvavat mentäessä etelästä pohjoiseen. Kuten kuvasta 4 käy ilmi Hulausjärven keskimääräinen kokonaisfosfori pitoisuus laskee lisäveden johtamisen seurauksena. Lisäveden johtaminen Heinälahteen pienentää eri altaiden kokonaisfosforin pitoisuuseroja.



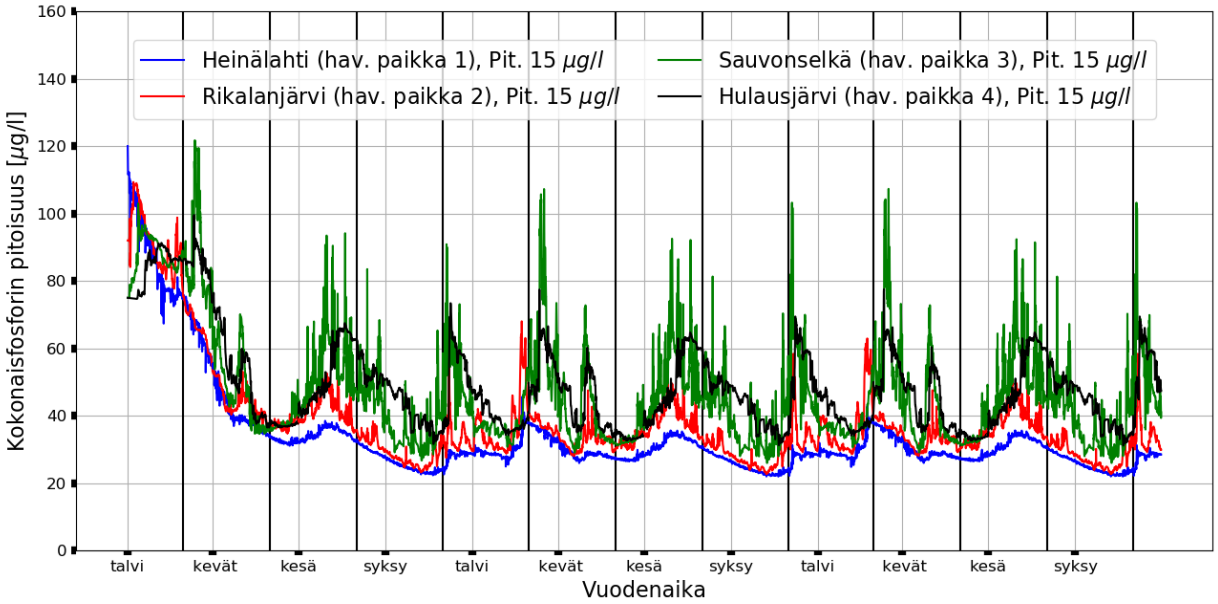
Kuva 20: Kokonaisfosforin pitoisuus Heinälahden, Rikalanjärven, Sauvonselän ja Hulausjärven havaintopaikoissa (havaintopaikat 1-4) kun johdetaan lisävettä virtaamalla 1 m^3/s pitoisuudella 30 µg/l.



Kuva 21: Kokonaisfosforin pitoisuus Heinälahden, Rikalanjärven, Sauvonselän ja Hulausjärven havaintopaikoissa (havaintopaikat 1-4) kun johdetaan lisävettä virtaamalla 1,0 m^3/s pitoisuudella 15 µg/l.

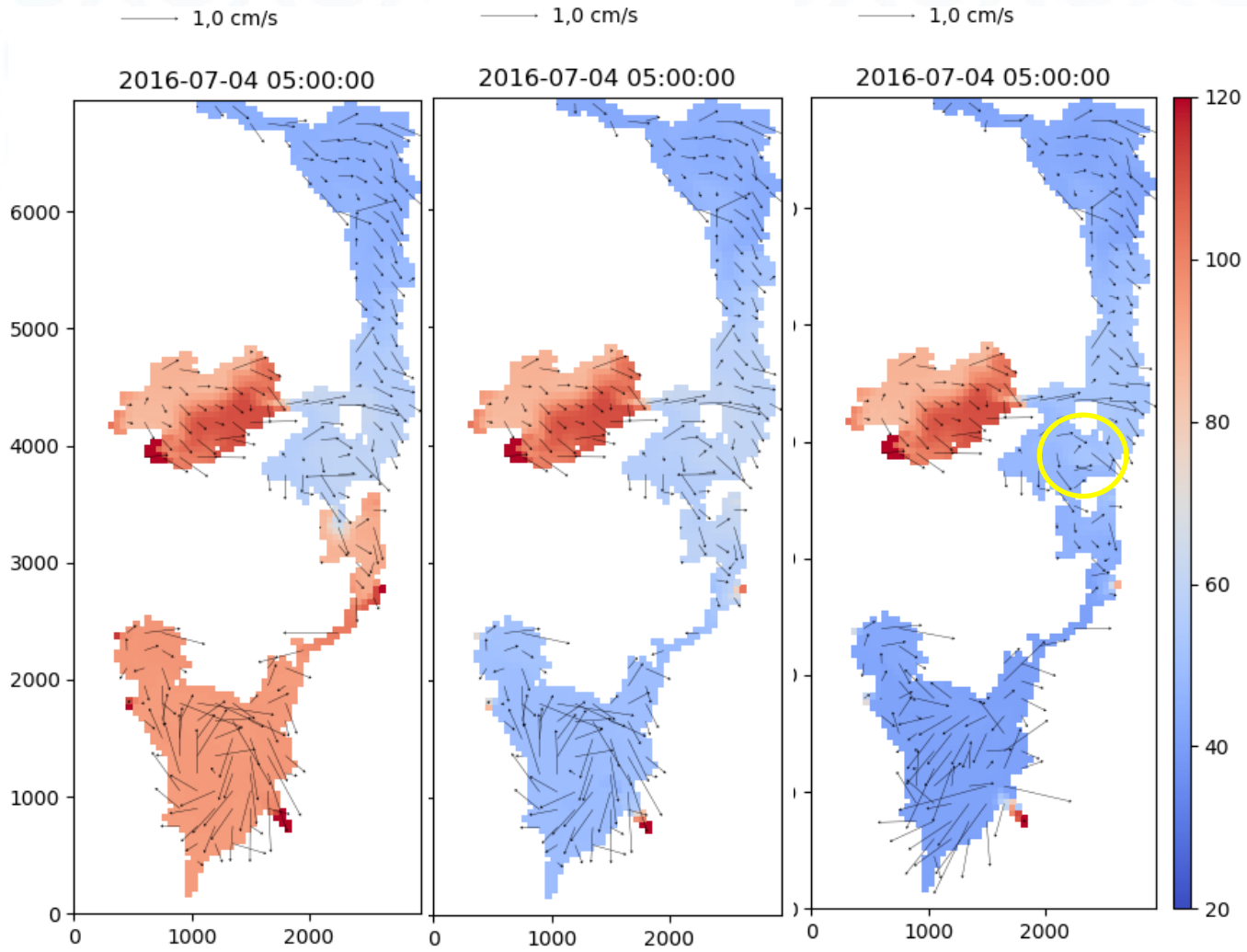


Kuva 22: Kokonaisfosforin pitoisuus Heinälahden, Rikalanjärven, Sauvonselän ja Hulausjärven havaintopaikoissa (havaintopaikat 1-4) kun johdetaan lisävettä virtaamalla 0,5 m^3/s pitoisuudella 30 µg/l.

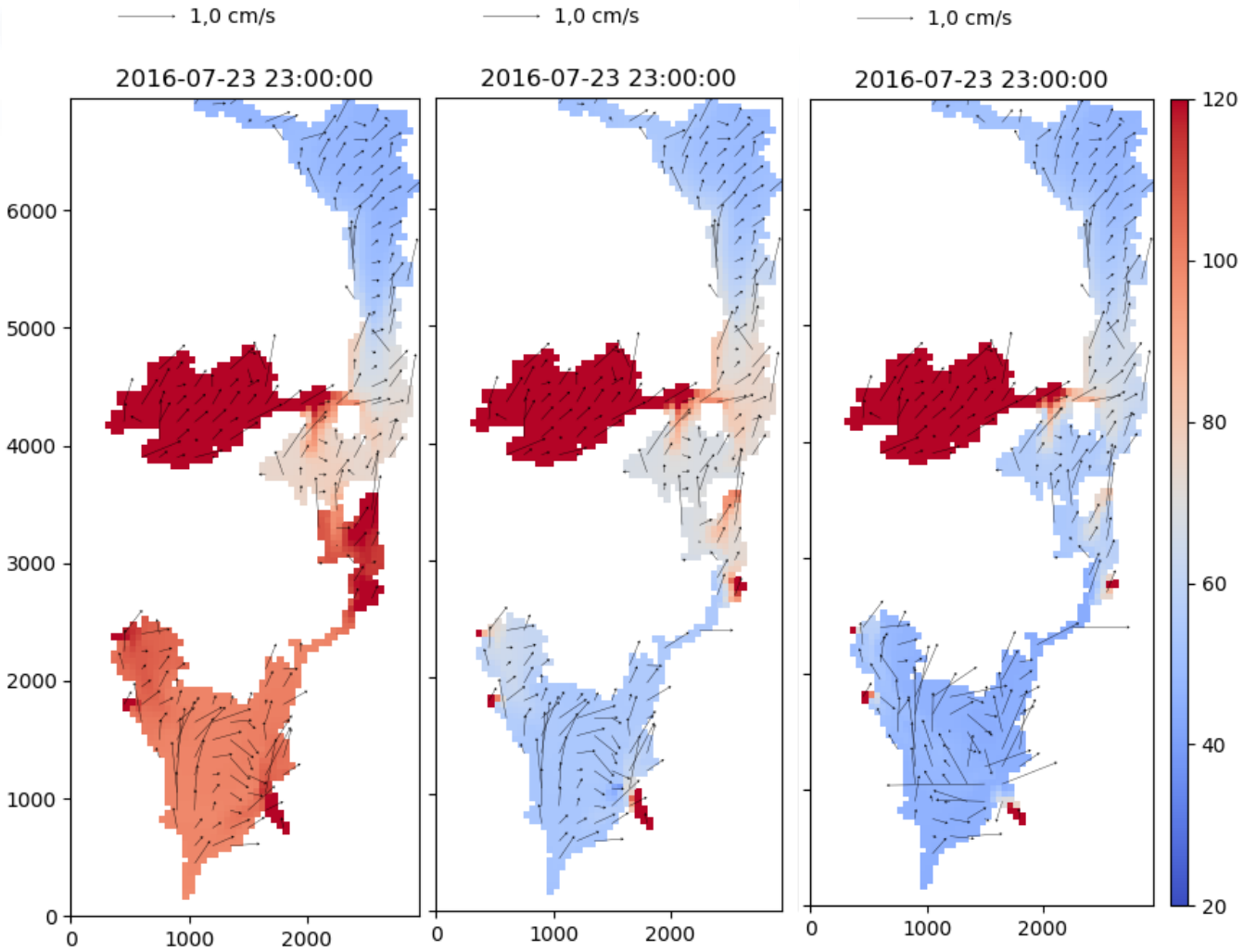


Kuva 23: Kokonaisfosforin pitoisuus Heinälahden, Rikalanjärven, Sauvonselän ja Hulausjärven havaintopaikoissa (havaintopaikat 1-4) kun johdetaan lisävettä virtaamalla 0,5 m^3/s pitoisuudella 15 µg/l.

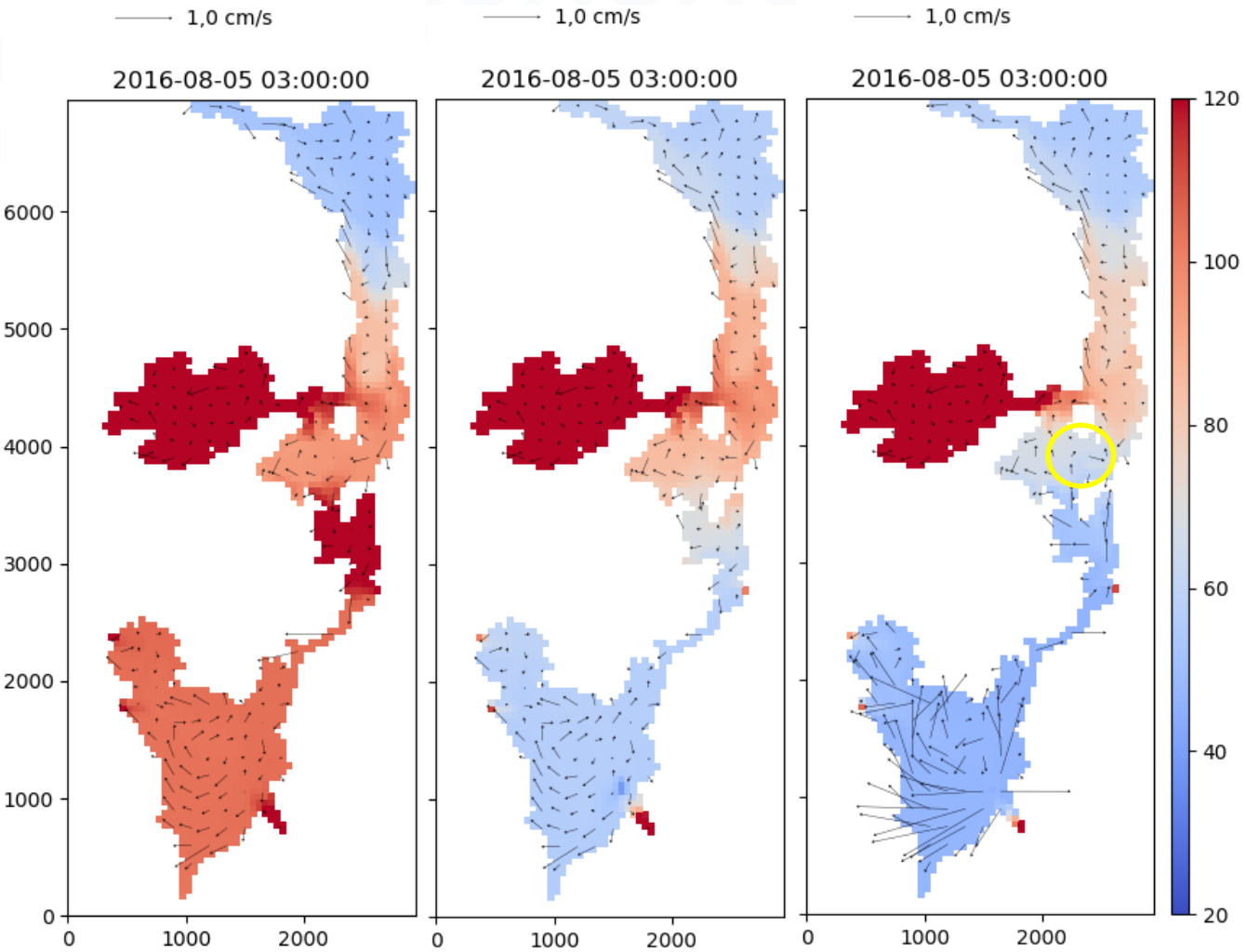
Vaikka lisäveden pumppaaminen vaikuttaa laskevasti kokonaisfosforipitoisuuksiin tarkasteltuna pitkällä aikavälillä (kuva 4, taulukot 2-6), on kokonaisfosforin pitoisuuksissa ajallisesti heilahteluja kuten kuvista 6, 9, 14, 16 ja 19-23 voidaan havaita. Lisäveden johtamisen vaikutus virtauskenttiin, ja näin ollen myös kulkeutumiseen, ei ole aina ja kaikkialla yksiselitteistä. Esimerkiksi kuvissa 24 ja 26-27 virtauskentät Hulausjärvellä Himaus-saaren ja Köpinsalmen välissä (merkitty kuviin keltaisella ympyrällä) ovat samankaltaisempia perustilassa (vasen kuva) ja johdettaessa vettä virtaamalla 0,5 m^3/s (keskimmäinen kuva, vaihtoehdot B1 ja B2) kuin johdettaessa vettä 1,0 m^3/s (oikeanpuolimmainen kuva, vaihtoehdot A1 ja A2). Virtauskentät Heinälahdella eroavat perustilasta sitä enemmän mitä enemmän lisävettä johdetaan (kuvat 24-28). Vastaavat virtauskenttä ja pitoisuus kuvat vaihtoehdoille kun johdettavan lisäveden pitoisuus on 15 µg/L on esitetty liitteessä 1.



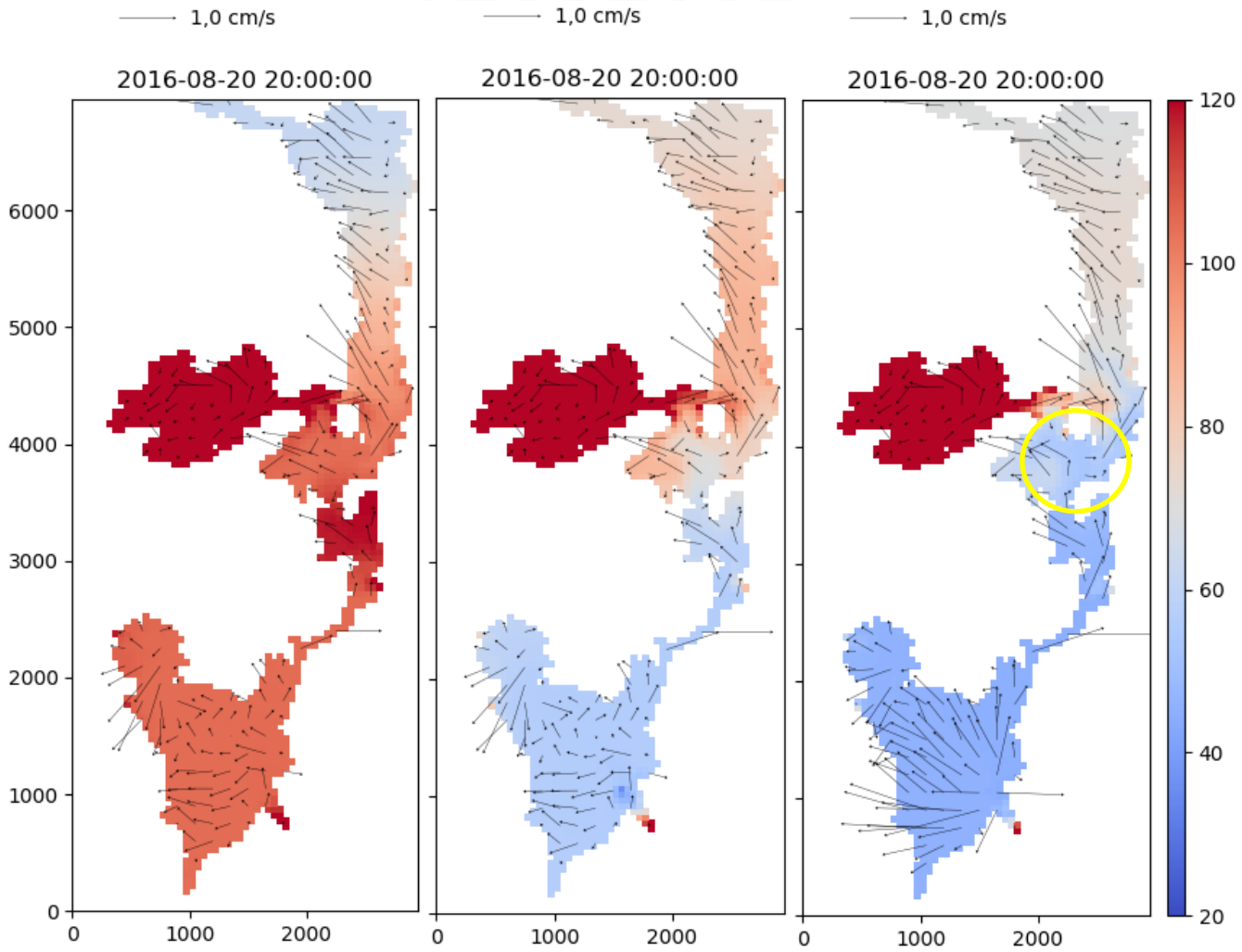
Kuva 24: Virtauskentät (nuolet) ja kokonaisfosforipitoisuudet (väriskaala, µg/L) Heinälahdessa, Mantereen-, Rikalan- ja Hulausjärvessä. Vasemmalla on perustila, keskellä lisäveden virtaama on 0.5 m^3/s ja oikealla 1 m^3/s. Vasemman puolimmaisessa kuvassa keltainen ympyrä kuvaa aluetta. jossa on havaittavissa eroja virtauskentissä. Kuvassa on esitetty hetkelliset pitoisuudet ja virtauskentät heinäkuun alkupäivinä toisena simulaatiovuotena. Johdettavan lisävedenpitoisuus on 30 µg/l. Oikeanpuolimmaisessa kuvassa on keltaisella ympyrällä kohta, jossa virtaukset poikkeavat muista tarkastelluista vaihtoehdoista.



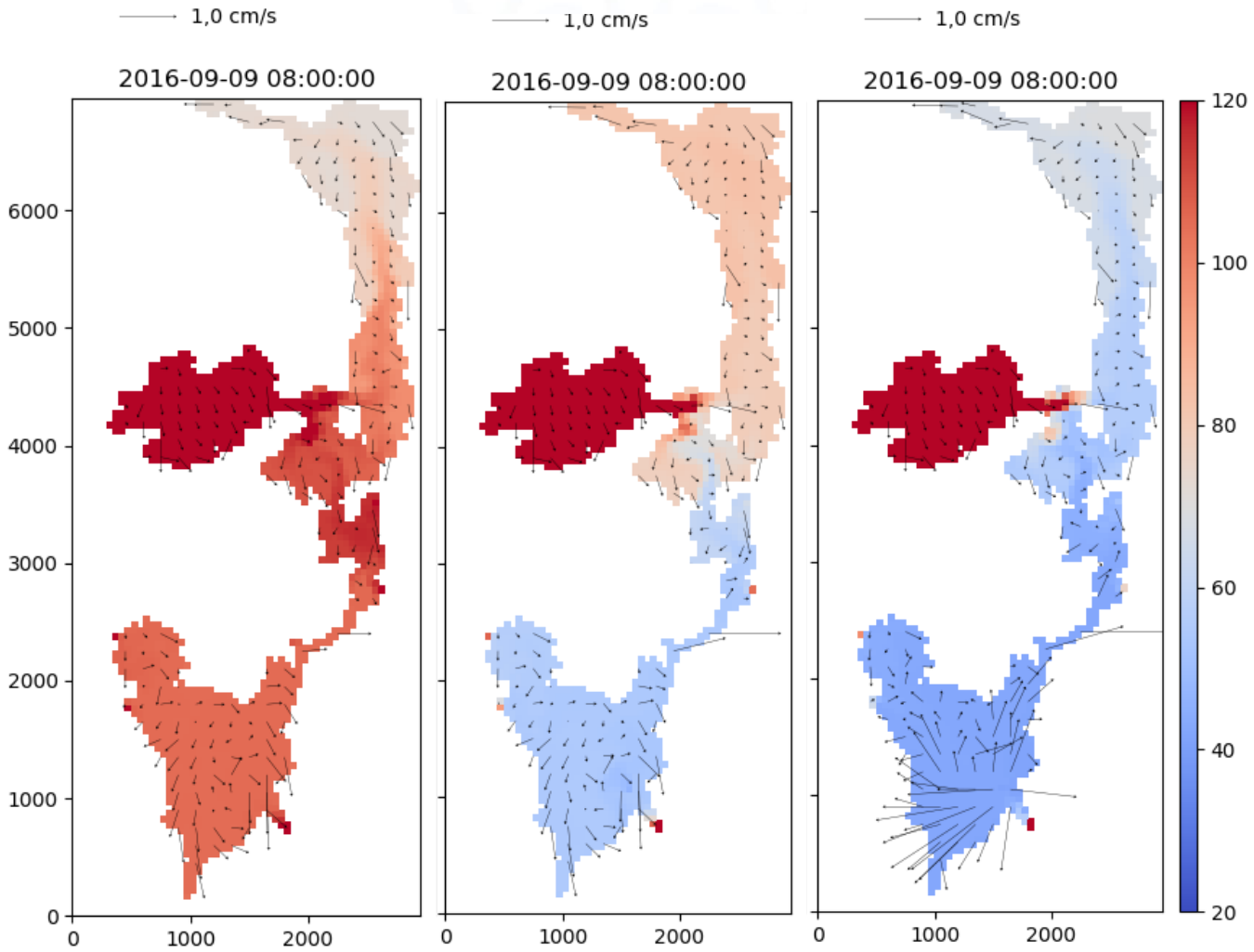
Kuva 25: Virtauskentät (nuolet) ja kokonaisfosforipitoisuudet (väriskaala, µg/L) Heinälahdessa, Mantereen-, Rikalan- ja Hulausjärvessä. Vasemmalla on perustila, keskellä lisäveden virtaama on 0.5 m^3/s ja oikealla 1 m^3/s. Kuvassa on esitetty hetkelliset pitoisuudet ja virtauskentät heinäkuun loppupuolella toisena simulaatiovuotena. Johdettavan lisävedenpitoisuus on 30 µg/l.



Kuva 26: Virtauskentät (nuolet) ja kokonaisfosforipitoisuudet (väriskaala, µg/L) Heinälahdessa, Mantereen-, Rikalan- ja Hulausjärvessä. Vasemmalla on perustila, keskellä lisäveden virtaama on 0.5 m^3/s ja oikealla 1 m^3/s. Kuvassa on esitetty hetkelliset pitoisuudet ja virtauskentät elokuun alkupuolella toisena simulaatiovuotena. Johdettavan lisävedenpitoisuus on 30 µg/l. Oikeanpuolimmaisessa kuvassa on keltaisella ympyrällä kohta, jossa virtaukset poikkeavat muista tarkastelluista vaihtoehdoista.



Kuva 27: Virtauskentät (nuolet) ja kokonaisfosforipitoisuudet (väriskaala, µg/L) Heinälahdessa, Mantereen-, Rikalan- ja Hulausjärvessä. Vasemmalla on perustila, keskellä lisäveden virtaama on 0.5 m^3/s ja oikealla 1 m^3/s. Kuvassa on esitetty hetkelliset pitoisuudet ja virtauskentät elokuun loppupuolella toisena simulaatiovuotena. Johdettavan lisävedenpitoisuus on 30 µg/l. Oikeanpuolimmaisessa kuvassa on keltaisella ympyrällä kohta, jossa virtaukset poikkeavat muista tarkastelluista vaihtoehdoista.



Kuva 28: Virtauskentät (nuolet) ja kokonaisfosforipitoisuudet (väriskaala, µg/L) Heinälahdessa, Mantereen-, Rikalan- ja Hulausjärvessä. Vasemmalla on perustila, keskellä lisäveden virtaama on 0.5 m^3/s ja oikealla 1 m^3/s. Kuvassa on esitetty hetkelliset pitoisuudet ja virtauskentät syyskuun alkupuolella toisena simulaatiovuotena. Johdettavan lisävedenpitoisuus on 30 µg/l.

4. Huomiota laskentatuloksista

Käytetyssä virtausmallissa ei käytetty dynaamista jäämallia, joten vesistöt olivat alttiita tuulen sekoittavalle ja virtauksia ylläpitäville voimille koko simulaation ajan. Tämän seurauksena kokonaisfosforin sekoittuminen ja kulkeutuminen on epätarkempaa avovesikauden ulkopuolella. Tämä näkyy niin lasketuissa viipymissä kuin esitetyissä pitoisuusaikasarjoissakin.

Hydrodynaaminen mallintaminen ja esitetyt pitoisuusaikasarjat ovat herkkiä kuormituksen ajoitukselle ja sijainnille. Lähivaluma-alueelta altaisiin tulevan kuormituksen keskittäminen altaisiin tuleviin jokiin voi vaikuttaa lyhyen aikavälin tarkasteluihin. Erityisesti tämä voi näkyä Hulausjärvessä, jonka lähivaluma-alueen kuormitus on jaettu Rikalanjärveen laskeviin uomiin.

Mallinnuksen kannalta ongelmakohtia ovat myös kapeikot, joista mallitulosten tulkinnan kannalta hankalin on Köpinsalmi, joka on todellisuudessa 5-10 metriä leveä kapeikko, mutta mallissa 50 metriä leveä uoma.

Alla on listattu keskeisempiä lisävedenjohtamisen seurauksia:

- Heinälahden kokonaisfosforipitoisuus laskee selkeästi kaikissa vaihtoehdoissa
- Lisäveden johtaminen Heinälahteen laskee Hulausjärven keskimääräistä kokonaisfosforipitoisuutta kaikissa tarkastelluissa vaihtoehdoissa
    - Lisäveden johtaminen 1 m^3/s, pitoisuus 30 µg/l (vaihtoehto A1) laskee pitoisuutta keskimäärin 24 µg/l Hulausjärvellä
    - Lisäveden johtaminen 1 m^3/s, pitoisuus 15 µg/l (vaihtoehto A2) laskee pitoisuutta keskimäärin 33 µg/l Hulausjärvellä
    - Lisäveden johtaminen 0,5 m^3/s, pitoisuus 30 µg/l (vaihtoehto B1) laskee pitoisuutta keskimäärin 13 µg/l Hulausjärvellä
    - Lisäveden johtaminen 0,5 m^3/s, pitoisuus 15 µg/l (vaihtoehto B2) laskee pitoisuutta keskimäärin 18 µg/l Hulausjärvellä
- Vaikutukset alkavat näkyä täysimääräisesti noin vuoden kuluttua.

- Järvien dynamiikka muuttuu kaikissa muissa paitsi Mantereenjärvessä

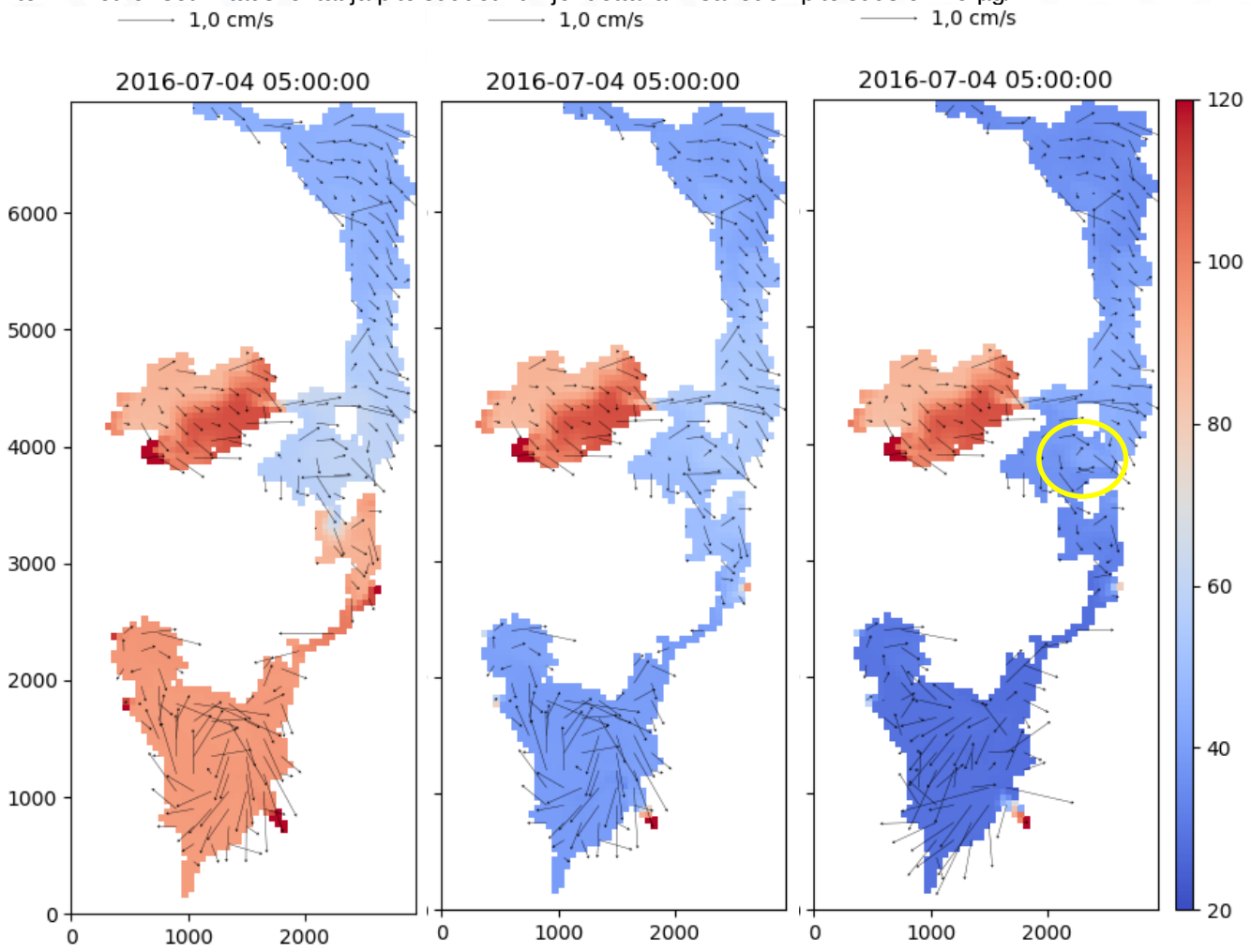
Työssä käytetyn sedimenttimoduulin oletusarvoinen tapa lisätä kuormitusta järveen ei huomioinut alkulaimenemista riittävällä tavalla. Näin ollen ilman muutoksia lähdekoodiin malli johdetun lisäveden myötä pitoisuudet vain kasvaisivat. Tämä puute korjattiin lähdekoodiin itse.

Myös VEMALAn hydrologista laskentaa jouduttiin tarkentamaan, sillä alueelle aluksi laskettu valunta todettiin liian pieneksi (n. 110 mm vuonna 2015) ja lumen määrä virheelliseksi. Kalibroinnin ohjauksella saatiin lumen vesiarvon laskenta järkeväksi. Valunnan määrää saatiin kasvatettua kieltämällä korjausmallin (korjaa mallin vesitasetta Pyhäjärven hydrologisia havaintoja vasten, mahdollisesti virheellisesti) toiminta sekä skaalaamalla valuntaa kohti lähialueiden laskettuja arvoja erillisessä Hulauden alueen laskenta-ajossa. Näillä korjaustoimenpiteillä uudeksi vuosivalunnaksi saatiin 220 mm vuodelle 2015. Vastaavat korjaukset tehtiin myös Mantereenjärven yläpuoliselle valuma-alueelle 35.290. Hulauden allaskokonaisuuteen tulevan kuormituksen määrä kasvoi muutosten vuoksi keskimäärin noin 45 %. VEMALAn operatiiviseen versioon valunnan korjausta ei tämän projektin puitteissa voitu toteuttaa.

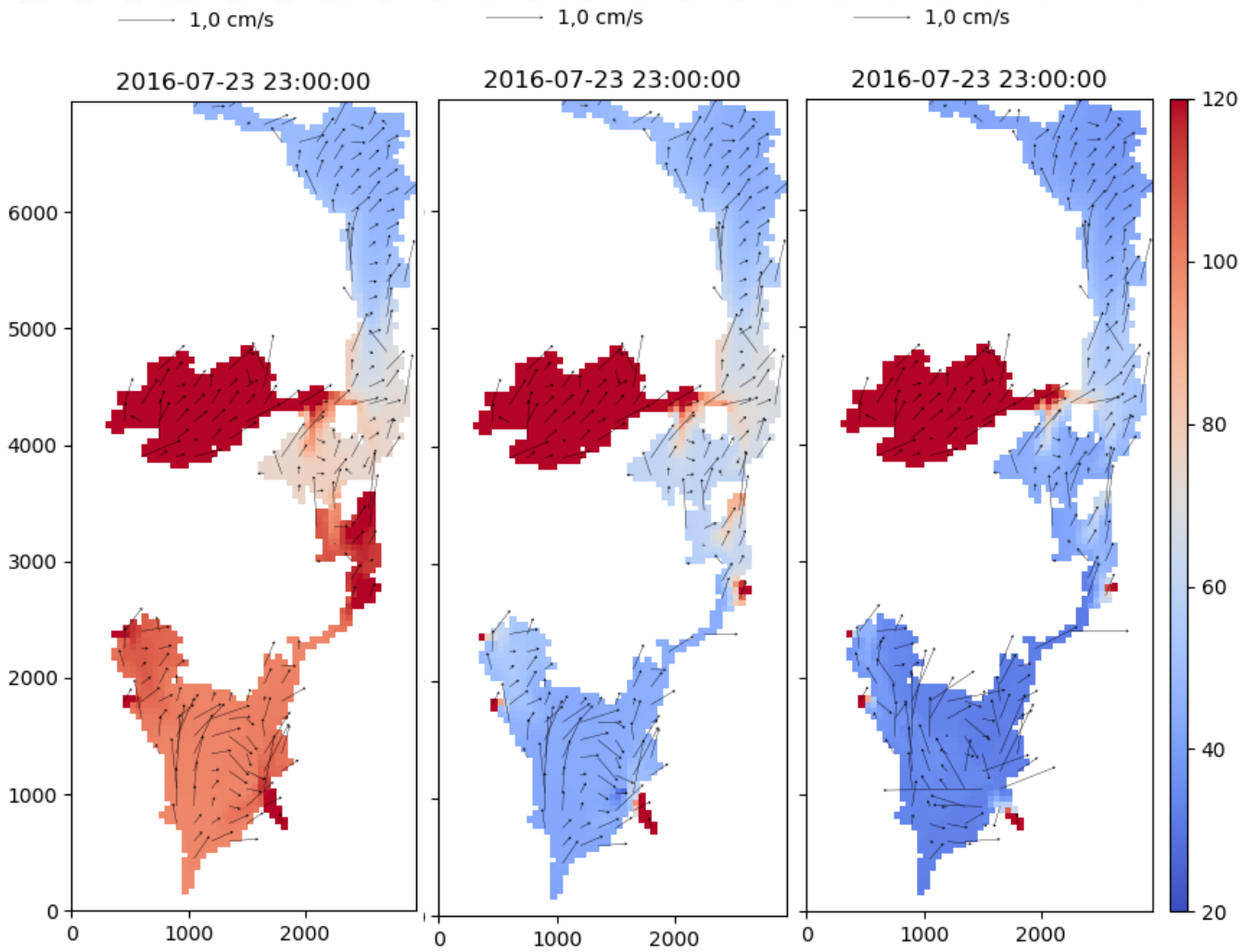
Kirjallisuus

Luyten, P. (Editor) 2013. COHERENS—A Coupled Hydrodynamical-Ecological Model for Regional and Shelf Seas: User Documentation. Version 2.5.1. RBINS-MUMM Report, Royal Belgian Institute of Natural Sciences. http://odnature.naturalsciences.be/coherens/

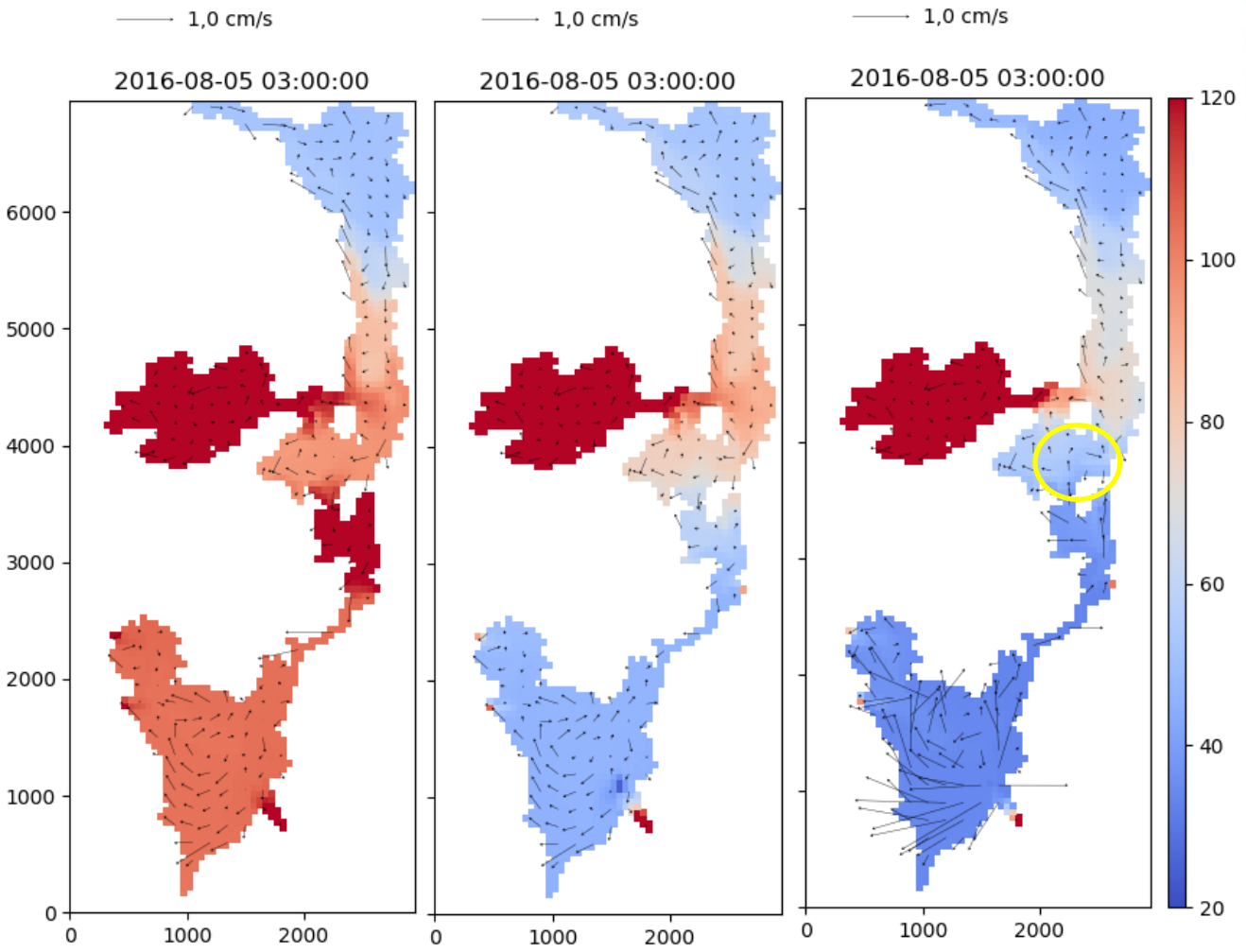
Liite 1 : Hetkelliset virtauskentät ja pitoisuudet kun johdettavan lisäveden pitoisuus on 15 µg/l.



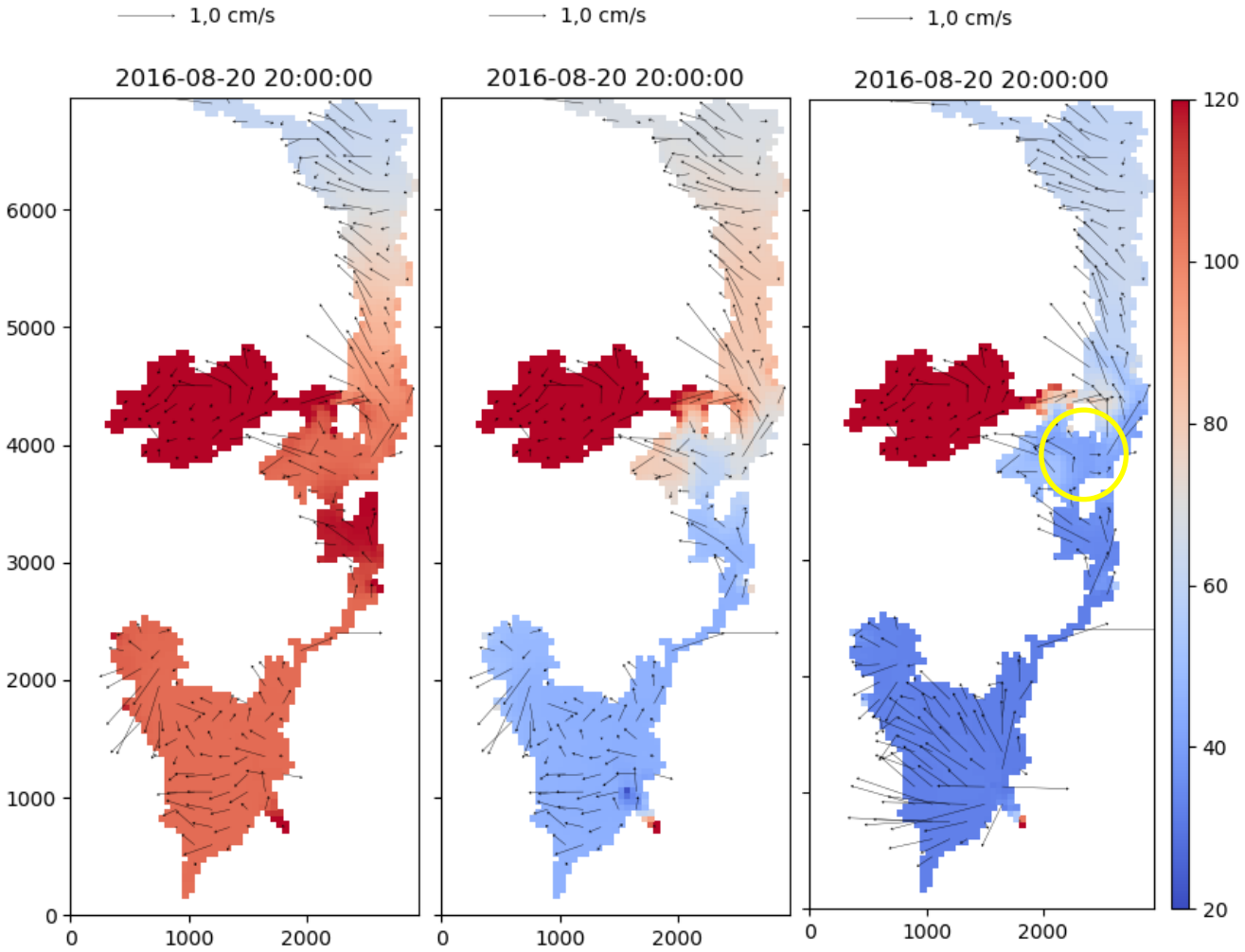
Kuva L1: Virtauskentät (nuolet) ja kokonaisfosforipitoisuudet (väriskaala, µg/L) Heinälahdessa, Mantereen-, Rikalan- ja Hulausjärvessä. Vasemmalla on perustila, keskellä lisäveden virtaama on 0.5 m^3/s ja oikealla 1 m^3/s. Vasemman puolimmaisessa kuvassa keltainen ympyrä kuvaa aluetta. jossa on havaittavissa eroja virtauskentissä. Kuvassa on esitetty hetkelliset pitoisuudet ja virtauskentät heinäkuun alkupäivinä toisena simulaatiovuotena. Johdettavan lisävedenpitoisuus on 15 µg/l. Oikeanpuolimmaisessa kuvassa on keltaisella ympyrällä kohta, jossa virtaukset poikkeavat muista tarkastelluista vaihtoehdoista.



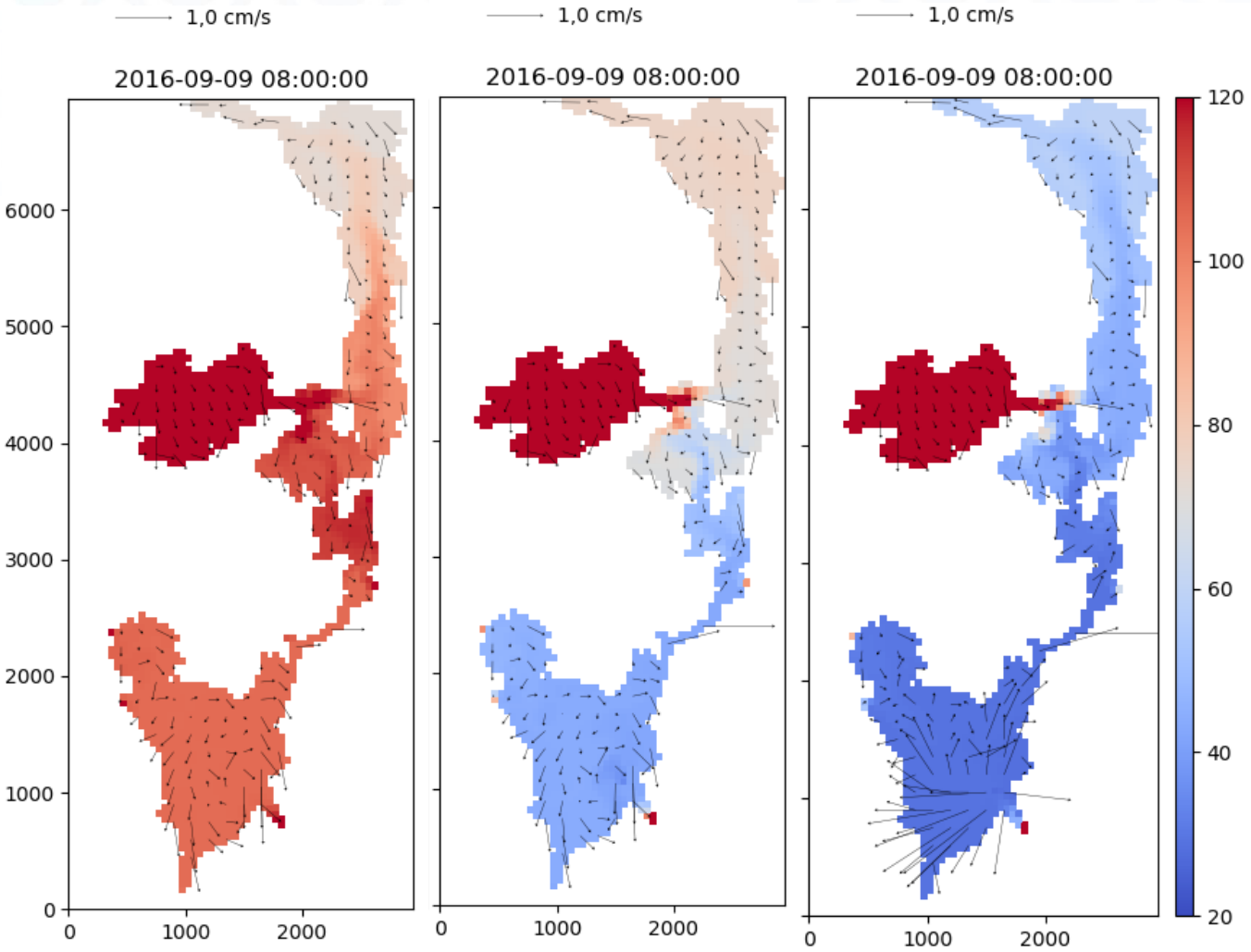
Kuva L2: Virtauskentät (nuolet) ja kokonaisfosforipitoisuudet (väriskaala, µg/L) Heinälahdessa, Mantereen-, Rikalan- ja Hulausjärvessä. Vasemmalla on perustila, keskellä lisäveden virtaama on 0.5 m^3/s ja oikealla 1 m^3/s. Kuvassa on esitetty hetkelliset pitoisuudet ja virtauskentät heinäkuun loppupuolella toisena simulaatiovuotena. Johdettavan lisävedenpitoisuus on 15 µg/l.



Kuva L3: Virtauskentät (nuolet) ja kokonaisfosforipitoisuudet (väriskaala, µg/L) Heinälahdessa, Mantereen-, Rikalan- ja Hulausjärvessä. Vasemmalla on perustila, keskellä lisäveden virtaama on 0.5 m^3/s ja oikealla 1 m^3/s. Kuvassa on esitetty hetkelliset pitoisuudet ja virtauskentät elokuun alkupuolella toisena simulaatiovuotena. Johdettavan lisävedenpitoisuus on 15 µg/l. Oikeanpuolimmaisessa kuvassa on keltaisella ympyrällä kohta, jossa virtaukset poikkeavat muista tarkastelluista vaihtoehdoista.



Kuva L4: Virtauskentät (nuolet) ja kokonaisfosforipitoisuudet (väriskaala, µg/L) Heinälahdessa, Mantereen-, Rikalan- ja Hulausjärvessä. Vasemmalla on perustila, keskellä lisäveden virtaama on 0.5 m^3/s ja oikealla 1 m^3/s. Kuvassa on esitetty hetkelliset pitoisuudet ja virtauskentät elokuun loppupuolella toisena simulaatiovuotena. Johdettavan lisävedenpitoisuus on 15 µg/l. Oikeanpuolimmaisessa kuvassa on keltaisella ympyrällä kohta, jossa virtaukset poikkeavat muista tarkastelluista vaihtoehdoista.



Kuva L5: Virtauskentät (nuolet) ja kokonaisfosforipitoisuudet (väriskaala, µg/L) Heinälahdessa, Mantereen-, Rikalan- ja Hulausjärvessä. Vasemmalla on perustila, keskellä lisäveden virtaama on 0.5 m^3/s ja oikealla 1 m^3/s. Kuvassa on esitetty hetkelliset pitoisuudet ja virtauskentät syyskuun alkupuolella toisena simulaatiovuotena. Johdettavan lisävedenpitoisuus on 15 µg/l.